



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT AGRICULTURE



THESE

*Présentée à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
pour l'obtention du diplôme de **Doctorat en Sciences Agronomiques***

**INDICATEURS DE VULNERABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES
FACE AUX VARIABILITES CLIMATIQUE ET DEMOGRAPHIQUE:
APPLICATIONS A LA RIZICULTURE DANS LA REGION DU LAC
ALAOTRA (MADAGASCAR)**

Par Ando RAZAKAVOLOLONA

Soutenue le 14 Octobre 2011 devant les membres de jury composés de :

<i>Raphaël RAKOTOZANDRINDRAINNY</i>	Professeur ESSAgro-Université d'Antananarivo	Président du jury
<i>Bruno RAMAMONJISOA</i>	Professeur ESSAgro-Université d'Antananarivo	Rapporteur interne
<i>Rolland RAZAFINDRAIBE</i>	Directeur de Recherche FOFIFA Antananarivo	Rapporteur externe
<i>Pablo TITTONELL</i>	Directeur de Recherche CIRAD Montpellier	Examineur
<i>Lilia RABEHARISOA</i>	Professeur ESSAgro-Université d'Antananarivo	Directeur de thèse
<i>Alain ALBRECHT</i>	Directeur de Recherche IRD- Montpellier	Directeur de thèse





UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT AGRICULTURE



THESE

*Présentée à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
pour l'obtention du diplôme de **Doctorat en Sciences Agronomiques***

***INDICATEURS DE VULNERABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES
FACE AUX VARIABILITES CLIMATIQUE ET DEMOGRAPHIQUE:
APPLICATIONS A LA RIZICULTURE DANS LA REGION DU LAC
ALAOTRA (MADAGASCAR)***

Par Ando RAZAKAVOLOLONA

Soutenue le 14 Octobre 2011 devant les membres de jury composés de :

<i>Raphaël RAKOTOZANDRINDRAINY</i>	Professeur ESSAgro-Université d'Antananarivo	Président du jury
<i>Bruno RAMAMONJISOA</i>	Professeur ESSAgro-Université d'Antananarivo	Rapporteur interne
<i>Rolland RAZAFINDRAIBE</i>	Directeur de Recherche FOFIFA Antananarivo	Rapporteur externe
<i>Pablo TITTONELL</i>	Directeur de Recherche CIRAD Montpellier	Examineur
<i>Lilia RABEHARISOA</i>	Professeur ESSAgro-Université d'Antananarivo	Directeur de thèse
<i>Alain ALBRECHT</i>	Directeur de Recherche IRD- Montpellier	Directeur de thèse

REMERCIEMENTS

« Interdépendance », dirait M. Qian Qichen,

« Dialogue », dirait M. Julius NYERERE.

Quant à nous, nous dirions « dette », et dans tous les sens possibles du terme.

Nous devons tout à Dieu qui nous a accordé ses faveurs bienfaitrices.

Nous devons beaucoup aussi à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, aussi bien à son Administration qu'à son Collège des Enseignants.

En particulier, nous remercions Monsieur Raphaël RAKOTOZANDRINDRAINY, Professeur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo, Département élevage, d'avoir accepté de présider cette cérémonie. Nous savons bien combien multiples sont ses fonctions et combien précieux est son temps.

Je tiens à exprimer ma très vive reconnaissance à Madame Lilia RABEHARISOA, Professeur à l'Université d'Antananarivo, Département Agriculture de l'ESSA et Directeur du Laboratoire des Radioisotopes, à qui je dois la direction de cette thèse. Malgré ses multiples occupations, elle m'a enrichi de ses précieux conseils et a toujours su assurer le bon déroulement de ce travail.

- Je suis tout particulièrement reconnaissant à Monsieur Alain ALBRECHT, Directeur de Recherche à l'IRD, d'avoir accepté de codiriger cette thèse et pour la confiance qu'il m'a accordée toutes ces années depuis mon DEA. Ses conseils intarissables, le partage de connaissances et expériences et sa rigueur scientifique ont permis la concrétisation du présent travail.

- Nos remerciements et reconnaissances s'adressent à Monsieur Pablo TITTONELL, Directeur de Recherche au CIRAD Montpellier, de m'avoir beaucoup aidé dans les travaux, lors de mes séjours à Montpellier et même à Madagascar, et d'avoir voulu examiner ce travail malgré ses innombrables occupations.

- J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Bruno RAMAMONJISOA, Professeur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques- Université d'Antananarivo et Chef de Département des Eaux et Forêts, qui a bien voulu accepter d'être le rapporteur interne de ce travail malgré ses nombreuses responsabilités.

Je souhaite également remercier Monsieur Rolland RAZAFINDRAIBE, Directeur de recherche au FOFIFA, pour m'avoir fait l'honneur d'être le rapporteur externe de cette thèse et pour son entière disponibilité malgré ses occupations.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier à :

- Professeur Lilia RABEHARISOA, Directeur du Laboratoire des Radioisotopes ainsi qu'aux chercheurs et techniciens. Qu'ils trouvent ici mes sincères remerciements pour l'accueil logistique, pour leurs aides, conseils et assistance dans une ambiance très conviviale durant ces années.

- Monsieur Florent MARAUX, Directeur de l'Unité de Recherche (UR) 102 Systèmes de culture annuels au CIRAD, et toute l'équipe du département PERSYST à Montpellier pour leur accueil chaleureux au sein de ce laboratoire. Qu'ils sachent que nous avons apprécié leur soutien remarquable et que nous leur adressons notre respectueuse admiration.

- Monsieur Santiago Lopez RIDAURA, Chercheur au sein de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Montpellier pour ses précieux aides dans l'élaboration des modèles.

- Jean Luc CHOTTE, Directeur de l'UMR 210 Eco&Sol Montpellier et toute son équipe d'avoir accepté de m'accueillir au sein de cette unité depuis mon DEA.

- Docteur Jean Chrysostôme RAKOTONDRAVELO, Chef de Département Agriculture, grâce aux précieux consignes et directives nous permettant de parvenir au terme de cette thèse. Qu'il sache notre sincère reconnaissance.

- Je tiens aussi à remercier mes aînés, mes amis thésards et stagiaires au sein du Laboratoire des Radio-Isotopes pour leur amitié et sollicitude.

- Tous mes remerciements vont à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo, sous la direction du Professeur Jean Roger Emile RASOARAHONA, ainsi qu'à tous les enseignants et le personnel administratif, pour avoir accepté mon inscription en thèse au sein de l'Ecole.

Cette thèse n'aurait pu avoir lieu sans la contribution financière des différents partenaires :

- Ma profonde reconnaissance au Projet Adaptation aux Changements Climatiques en Afrique (ACCA-MADAGASCAR) et au CRDI-Canada pour avoir financé le présent travail de m'avoir octroyé des bourses d'étude durant les 3 années de thèse et de m'avoir permis de suivre une formation sur la modélisation organisée par l'université de Wageningen. Cette thèse entre dans le cadre d'un partenariat entre le LRI, le Département Agriculture de l'ESSA et l'IRD à travers le projet ACCA. Merci beaucoup à toute l'équipe du projet : Lilia RABEHARISOA, Alain ALBRECHT, Jean Chrysostôme RAKOTONDRAVELO, Jeannin RANAIVONASY, Nosy ALIZANY, Rivo RABARIJOHN,

Samoelina RAMANANTSIALONINA, Holy RAHARINJANAHARY, Hery RAZAFIMAHATRATRA, Odette RASOHARIMALALA et Mamitiana RANAIVOARIVONY.

- Je remercie également le CIRAD Montpellier, le Département PERSYST et l'UR Systèmes de Culture Annuels pour leurs appuis financiers et logistiques, lors de mes séjours en France.

- Mes remerciements s'adressent également à la représentation de l'IRD à Madagascar et tout son personnel pour leurs appuis logistiques.

- Je remercie aussi le Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France à Madagascar d'avoir soutenu financièrement mes séjours à Montpellier.

- Je voudrais aussi remercier l'agence universitaire francophone (AUF) d'avoir soutenu financièrement mon séjour en France durant le seminaire internationale AGRO 2010 à Montpellier.

Sans oublier toute ma famille pour son encouragement.

Résumé

Evaluer la vulnérabilité des exploitations agricoles face aux changements climatique (CC) et démographique (CD) permettra de comprendre le fonctionnement de ces exploitations face à ces contraintes et d'identifier les pratiques d'adaptation en vue d'une meilleur gestion des ressources. A Madagascar la filière riz prend une place importante dans ce secteur et la région du Lac Alaotra en est le principal producteur. Toutefois, les pratiques agricoles actuelles de la région peuvent remettre en question la sécurité alimentaire à l'échelle nationale. Des enquêtes ont été menées auprès de 103 exploitations réparties dans 4 communes représentatives de la région. L'étude s'est focalisée, dans un premier temps, sur un travail de description du système agraire et les effets des deux facteurs sur celui-ci. Et dans un second temps sur des travaux de modélisations dont le but est d'optimiser la production agricole face aux effets des deux facteurs considérés.

L'évolution du système agraire de la région résulte d'un long processus lié à l'historique du peuplement, au développement technologique et aux contraintes environnementales. Il est dominé par une agriculture conventionnelle basée sur la riziculture irriguée et pluviale, une filière qui occupe plus de 90% de la population de la région. Trois types peuvent être observés dans la région à savoir les petites, moyennes et grandes exploitations. Le résultat montre une différence du mode de gestion des ressources entre les types d'exploitation et la localité considérée. Les petites exploitations se basent sur l'autosubsistance, les moyennes sur l'autosubsistance et un minimum d'investissement, et les grandes sur la vente. La différence est en grande partie attribuée à la distribution des parcelles sur les étages écologiques et aux moyens techniques à leur disposition. Les localités d'Ambatosoratra et d'Amparihitsokatra (celles de l'Est) sont à la fois sensibles aux CC et CD. La localité de Vohitsara est sensible aux CC La localité de Tanambe est sensible au CD. La sensibilité au CC est déterminée par les surfaces cultivables et leur distribution selon les différents terroirs, tandis que la sensibilité au CD dépend de la distribution des parcelles cultivées et de l'outillage agricole à la disposition de chaque famille.

Les indicateurs relatifs à la production (marge brute, coût de production et production rizicole) sont plus sensibles aux facteurs climatiques, tandis que les indicateurs relatifs aux intrants (quantité de main d'œuvre utilisée, fertilisants organiques et minéraux, pesticides) sont liés aux facteurs démographiques.

Le travail de modélisation a permis de comprendre que le mode de gestion actuel des exploitations autour du Lac optimise soit la marge brute soit la valeur de production tout en assurant la quantité de riz dont elles ont besoin pour la prochaine saison avec une limitation de la main d'œuvre saisonnière.

11 sur 12 groupes d'exploitations sont sensibles aux doubles effets des changements climatique et démographique. Une diminution de la productivité est alors constatée dans la

région. L'écart de la production rizicole varie de 0,7 à 2 T.ha⁻¹ selon la localité. Notons que que les effets du CC prime sur celui du CD.

En somme, la perception paysanne du changement climatique combinée avec le savoir scientifique permet de cerner le sujet.

MOTS CLES : Changements climatique et démographiques, sensibilité, vulnérabilité, riz, Lac Alaotra, indicateurs

Abstract

Valuing the vulnerability of farms to climatic and demographic changes (CC) (CD) will permit to understand the functioning of these exploitations face with these constraints and also to identify the adaptation practices in view of a better management of resources. In Madagascar, rice path takes an important place in this sector and the region of Alaotra basin is the main producer of rice. However, the actual agricultural practices in the region can question the food security on a national scale. Investigations have been led in 103 exploitations spread out in 4 representative localities of the region. The survey focused, in a first time, on a work of description of the farming system and the effects of the two factors on this one. And in a second time on works of modelling whose goal is to optimize the agricultural production facing the effects of the two considered factors.

The evolution of the farming system in the region results from a long process bound to the historic of the population, to the technological development and to the environmental constraints. The system is dominated by a conventional agriculture based on the irrigated and rainfed rice culture, a sector that occupies more than 90% of the population of the region. Three types can be observed in the region which are the small, middle and big exploitations. The result shows a difference in the allocation of resources between the types of exploitation and the considered locality. The small exploitations are based on the subsistence, the middle on the subsistence and a minimum of investment, and the big on trading. The difference is largely assigned to the distribution of the parcels on the landscape and to the technical means at their disposal. The localities of Ambatosoratra and Amparihitsokatra (those of the East) are at a time sensitive to the CC and CD. The locality of Vohitsara is sensitive to the CC. The locality of Tanambe is sensitive to the CD. The sensitivity to the CC is determined by the area suitable for cultivation and their distribution according to the different soils, while the sensitivity to the CD depends on the distribution of the cultivated parcels and the agricultural tooling at the disposal of every family.

The relative indicators to the production (gross margin, cost of production and rice production) are more sensitive to the climatic factors, while the relative indicators to the inputs (labour, organic and mineral fertilizers, pesticides) are bound to the demographic factors.

The modelling permitted to understand that the way how the actual management of the exploitations around the Lake optimizes either the gross margin or the value of production assuring the quantity of rice of which they have need for the next season and also with a limitation of the seasonal total labour.

11 out of 12 groups of exploitations are sensitive to the double effects of the climatic and demographic changes. A reduction of the productivity is noted then in the region. The gap of rice production varies from 0,7 to 2 T.ha⁻¹ according to the locality and noting that the effects of CC takes before the one of the CD.

In short, the farmer perception of the climate change combined with the scientific knowledge permits to identify and master the problem.

KEY WORDS: climatic and demographic Changes, sensitivity, vulnerability, rice, Lake Alaotra, indicators .

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre. I- Etat des connaissances	4
I- Changement climatique	5
I.1- Changement climatique dans le monde	5
I.2- Changement climatique à Madagascar.....	6
II. Le système agraire à Madagascar	8
III- Les différentes zones agro-climatiques à Madagascar	9
IV- Sécurité alimentaire.....	9
V- Le riz dans le monde et à Madagascar.....	12
VI- L’Alaotra et la riziculture.....	12
VII- Evolution démographique	13
VIII- Indicateur de Vulnérabilité du système agraire Malgache.....	14
Chapitre II - Matériels et Méthodes.....	15
I- Site d’étude	15
I.1- Localisation géographique	15
I.2- Géologie	15
I.3- Topographie	15
I.4- Climat de l’Alaotra.....	16
II- Matériels de recherche	16
II.1- Enquêtes préliminaires	16
II.2- Enquête auprès des exploitants agricoles.	17
II.3- Spatialisation et description des terroirs.....	17
II.4- Etablissement de la typologie d’exploitation.....	18
II.5- Collecte de données climatiques et démographiques.....	18
III- Travail de modélisation	18
IV- Evaluation du niveau de vulnérabilité	19
V- Analyse statistique.....	19
Chapitre III - Caractérisation du système agraire dans la région du lac Alaotra	21
Résumé.....	21
Abstract	21
Introduction.....	22
II- Matériels et méthodes.....	22
II.1 Sélection du lieu d’étude.....	22

II.2- Description du site	23
II.2.1- Caractérisation biophysique du site.....	23
II.2.2- Caractérisation Socio-économique	23
II.3- Description du système agraire	25
II.3.1- Evolution du système agraire.....	25
II.3.2- Sélection des exploitations agricoles	25
II.3.3- Typologie des exploitations agricoles	25
III- Résultats et discussions.....	26
III.1- Description de l'évolution du système agraire dans la région du Lac Alaotra.	26
III.2- Description générale des exploitations agricoles sur les différentes localités étudiées.....	27
III.2.1 -Description physique des localités étudiées	32
III.2.2- Utilisation des terres dans les quatre régions.....	32
III.2.3- Caractéristique de production rizicole au niveau des localités.....	34
III.3- Typologie des exploitations agricoles	35
III.3.1- Indicateurs socio-économiques au niveau des localités et des types d'exploitations...	39
III.3.2- Gestion des terroirs de différents types d'exploitation	39
III.3.3-La production et la gestion du riz des différentes exploitations.....	40
III.3.4- Mode d'acquisition des terres et gestion des parcelles.....	41
III.3.5- Répartition des tâches dans une exploitation agricole.....	43
III.3.6- Relation exploitation, changements climatiques et démographiques	44
Conclusion	45
Références Bibliographiques.....	46
Chapitre. IV - Changement de pratiques culturelles dans la région du Lac Alaotra Madagascar face à la variation climatique et l'évolution démographique.....	47
Résumé.....	47
Abstract	47
Introduction.....	48
II- Matériels et méthodes.....	48
II.1-Sélection du milieu d'étude	48
II.2-Choix d'échelle d'exploitation agricole.....	49
II.3-Spatialisation et description des terroirs.....	50
II.5- Variation climatique en Alaotra : Changement de la pluviosité et de sa perception par les paysans	50
II.6- Perception paysanne du changement climatique et notion de bonne et mauvaise saisons culturelles.	50

II.7- Changement des pratiques	50
III- Résultats et discussions.....	50
III.1- Description physique des terroirs	50
III.1-Perception paysanne du changement climatique.	52
III.1.1- Description paysanne du changement climatique en Alaotra.....	52
III.1.2- Perception paysanne de bonnes et mauvaises saisons de culture	53
III.2-La variation climatique issue des données météorologiques.....	53
III.3-Changement démographique	56
III.4- Changements dans les pratiques induites par le changement climatique.....	56
III.4.1-Changement des calendriers culturels	56
III.4.2- La diversification des cultures	61
III.4.3- Une utilisation de plusieurs variétés de cultures.....	61
III.5- Changements des pratiques induits par le changement démographique	63
III.5.1-Extensification de la superficie cultivée et pratique du labour.....	63
III.5.2- Utilisation des moyens mécaniques.....	64
III.5.3- Utilisation des ressources financières plus importantes.....	64
III.5.4- Un mode de gestion des exploitations orienté vers la location des parcelles.....	65
Conclusion	66
Références Bibliographiques.....	67
Chapitre V - SEAA : Description du système agraire de la région du lac Alaotra (Madagascar) et analyse des scénarios avec changements climatique et démographique	69
Abstract	69
Résumé.....	69
Introduction.....	70
II- Matériels et méthodes.....	72
II.1- Description du modèle.....	72
II.2- Approche générale.....	73
II.3- Etablissement du modèle.....	73
II.3.1- Les coefficients techniques	74
II.3.2- Les valeurs correspondant à la réalité	79
II.4- Programmation du modèle	80
II.4.1-Utilisation des coefficients techniques	80
II.4.2-Définir les objectifs dans le modèle	81
II.4.3- Un modèle à plusieurs objectifs	83
II.5- Paramétrage du modèle	83

II. 6- Description de la situation actuelle à partir de SEAA	85
II.7-Scenarii avec un changement climatique	85
II.8- Scenario avec un changement démographique	86
II.9- Evaluation de la sensibilité.....	86
III- Résultats et discussions	87
III.1- Fonctionnement du modèle	87
III.2- Validation du modèle	88
III.3- Description de la situation actuelle à partir de SEAA	95
III.3- Scenario avec un changement climatique	97
III.3.1- Evolution à l'échelle régionale	97
III.3.2- Evolution à l'échelle des exploitations agricoles.....	105
III.4- Scenario avec un changement démographique	117
III.4.1- Evolution à l'échelle régionale	117
III.4.2- Evolution à l'échelle de l'exploitation	120
III.5- Scenario avec un changement climatique et un changement démographique....	126
III.5.1- Changement du mode d'occupation des sols à l'échelle de la région	126
III.5.2- Changement du mode d'occupation de sols pour un CC et CD à l'échelle de l'exploitation.....	128
III.5.3- Evolution des indicateurs en fonction du changement démographique et du changement climatique.....	130
III.6- Répartition de la quantité de main d'œuvre utilisée mensuellement	131
III.7- Sensibilité des exploitations agricoles aux facteurs climatiques et démographiques à l'échelle de l'exploitation	132
Conclusion	135
Références Bibliographiques.....	137
Chapitre VI Evaluation de la vulnérabilité et adaptation du système rizicole de la région du Lac Alaotra face à la variabilité de la pluviosité et à l'évolution démographique par l'utilisation de modèle SEAA.....	139
Abstract	139
Résumé.....	139
Introduction.....	140
I- Matériels et méthodes	141
II.1- Evaluation du niveau de vulnérabilité.....	141
II.2- Sensibilité	141
II.2.1- Sensibilité par rapport aux changements climatiques.....	141
II.2.2- Sensibilité par rapport à l'augmentation de la population	143

II.3- Exposition	143
II.4-Capacité d'adaptation	144
II.5- Vulnérabilité	144
II.6. Projection temporelle de la vulnérabilité en rapport avec la sécurité alimentaire.	145
II- Résultats et discussions.....	146
III.1-Vulnérabilité au changement climatique.....	146
III.1.1- Vulnérabilité par rapport à la marge brute	146
III.1.2- Vulnérabilité des exploitations agricoles de la région du Lac Alaotra par rapport à la production rizicole.....	147
III.2- Vulnérabilité au changement démographique	148
III.3- Vulnérabilité au Changement climatique et démographique	149
III.4- Projection temporelle de la vulnérabilité en rapport avec la sécurité alimentaire	150
III.5- Techniques d'adaptation recommandées	152
III.5.1- Priorisation des terroirs suivant les différents objectifs et selon les moyens	153
III.5.2- Une intensification de l'utilisation de fertilisants organiques et minéraux.....	154
III.5.3- Utilisation des moyens plus rapides.....	154
III.5.4- Amélioration des infrastructures de maîtrise de l'eau	154
Conclusion	156
Références bibliographiques.....	157
Conclusions générale, limites et perspectives.....	166
Références Bibliographiques.....	170
Annexe	178

Liste des abréviations

CC : changement climatique

CD : changement démographique

SEAA : Simulation des Exploitations Agricoles de l'Alaoatra

MO (Lab): Main d'oeuvre

FAO: Food and Agricultural Organisation

RY: Production rizicole

MB: Marge brute

Herb: Herbicide

Insec: Insecticide

SIG: Système d'Information Géographique

GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Max : Maximisation

BAD : Banque Africain pour le Développement

RB : Rizièrè Basse

RH : Rizièrè Haute

RBL : Rizièrè au Bord du Lac

Bb : *Baiboho*

Tan : *Tanety*

RBF : Rizièrè de Bas Fond

Liste des figures

Figure 1-1 : Variation de la température Minimale et Maximale de 50 ans à Madagascar	7
Figure 1-2 : Tendence annuelle de la moyenne et intensité de la pluviométrie depuis 50 ans à Madagascar.	7
Figure 1-3 : Fréquence du nombre de populations mal-nourries dans différents pays.	9
Figure 1-4 : Les zones agro-climatiques de Madagascar.....	11
Figure 2-1 : Carte de localisation de la zone d'études	15
Figure 3-1 : Carte des vingt deux régions de Madagascar et leur rang dans la production de riz (a), et la part de riz commercialisée(b).	24
Figure 3-2 : Carte de Localisation des deux districts de la région du lac Alaotra	24
Figure 3-3 : Description de l'évolution du système agraire dans la région du lac Alaotra.	31
Figure 3-4 : Transect et description des terroirs.....	33
Figure 3-5 : Occupation des sols dans les quatre localités étudiées.....	34
Figure 3-6 : Allocations des ressources et les flux entre les différents composants du système des trois types d'exploitations.	37
Figure 4-1 : Carte de localisation des localités et villages étudiés.....	49
Figure 4-2: Carte des différents terroirs de la localité d'Ambatosoratra.	51
Figure 4-3: Distribution des terroirs suivant leur accès à l'eau de la localité d'Ambatosoratra.	51
Figure 4-4: Variation mensuelle de la précipitation de 1977 à 2007. De gauche à droite, les décades de 1977-1987, 1987-1997-1997-2007.	55
Figure 4-5: Calendrier des activités agricoles incluant le semis, le repiquage, le sarclage et la récolte pour deux périodes et selon la perception paysanne.	55
Figure 4-6: Fréquence d'activités culturelles en fonction de la pluviometrie.	57
Figure 4-7: fréquence moyenne d'activités des quatre localités et prix moyen de la main d'œuvre journalière.	60
Figure 4-8: Conquête des rizières au bord du lac	62
Figure 5-1: (a) Fonctionnement de SEAA et ses composants, (b) les interactions entre les différentes ressources du système.	72
Figure 5-2: Différents modes de gestion des terroirs de trois types d'exploitations	73

Figure 5-3 : Schéma de la traduction des interactions des différents composants d'un système dans un tableau de coefficients techniques.	81
Figure 5-4: Gestion des ressources dans un modèle de programmation linéaire à plusieurs objectifs	82
Figure 5-5 : Schéma d'un modèle à plusieurs objectifs et la traduction de certains d'entre eux en variables contrôlables.	82
Figure 5-6- Représentation graphique des scénarii d'identification de la situation la plus similaire à la réalité	85
Figure 5-7 : relation entre indicateur, surface cultivée et quantité de main d'œuvre utilisée	88
Figure 5-8 : Validation du Modèle SEAA	90
Figure 5-9 : Evolution des corrélations entre la réalité et le simulé de trois objectifs	91
Figure 5-10: Comparaison de l'utilisation des terres entre la situation réelle (Réel) et la situation la plus proche simulée avec SEAA (Sim) dans quatre localités du Lac Alaotra :.....	94
Figure 5-11 Variation des indicateurs à l'échelle de la localité. 100% représente les valeurs maximales de chaque indicateur trouvé à l'échelle de la localité (valeur référence).	96
Figure 5-12 : Evolution de l'occupation des sols pour un scenarii avec changement climatique à l'échelle régionale	98
Figure 5-13 : Evolution des indicateurs de production agricole à l'échelle régionale en fonction de changement climatique.	99
Figure 5-14 : Evolution des indicateurs de production à l'échelle de l'exploitation agricole pour un scenario avec un changement climatique	104
Figure 5-15 Evolution de l'occupation des sols à l'échelle de l'exploitation agricole pour quatre scenarii climatique.....	116
Figure 5-16 : Changement d'occupation des sols des quatre localités étudiée en fonction d'un changement démographique.....	119
Figure 5-17 : Evolution des indicateurs de production des quatre localités étudiées en fonction d'un changement démographique	119
Figure 5-18 : Evolution des indicateurs de production en fonction d'un changement démographique à l'échelle de l'exploitation agricole.....	121
Figure 5-19 : Changement d'occupation des sols des quatre localités étudiées en fonction de la combinaison de changements démographique et climatique.....	127
Figure 5-20: Evolution des indicateurs de production à l'échelle de l'exploitation agricole pour un scenario avec changement climatique et démographique.	129
Figure 5-21 : Distribution mensuelle et variation de l'utilisation de la main d'œuvre des quatres localités pour les trois situations.	132

Figure 6-1: Sensibilité de l'exploitation agricole face à un aspect du changement climatique (raccourcissement de la période de pluie).....	143
Figure 6-2: Delta marge brute et delta production rizicole entre la situation actuelle et la situation avec changement climatique.	147
Figure 6-3: Delta marge brute et production rizicole entre la situation actuelle et la situation avec changement démographique.	149
Supérieurs à zéro sont considérés comme vulnérables.....	149
Figure 6-4 : Delta marge brute et production rizicole entre la situation actuelle et la situation avec changement climatique et démographique.	150
Supérieurs à zéro sont considérés comme vulnérables à ces facteurs.	150
Figure 6-5: Evolution de la quantité de riz produite pour deux situations :.....	152

Liste des tableaux

Tableau 2.1: Base de données initiales	17
Tableau 3-1: Principaux caractéristiques biophysique, socio-economique, gestion de l'exploitation et activités de production de la région d'étude.	29
Tableau 3-2 : Distribution et superficie des terroirs selon les sous région.....	33
Tableau 3-3: Moyenne de productivité rizicole des quatre localités étudiées et leur distribution selon le type de terroir (irrigué ou pluvial)	35
Tableau 3-4: Caractéristiques des types d'exploitation identifiée selon cinq critères considérés pour leurs catégorisations.	38
Tableau 3-5: Moyenne des valeurs des indicateurs socio-économiques suivant la typologie des localités étudiées.	38
Tableau 3-6: Moyenne des superficies en possession ou cultivées et leur distribution suivant l'accessibilité à l'eau et le système de culture pour les différents types d'exploitation dans les quatre localités étudiées.	40
Tableau 3-7: Quantité de riz produite suivant l'accès à l'eau et sa distribution selon la gestion de chaque type d'exploitation des différentes localités étudiées.	41
Tableau 3-8: Superficie du mode de gestion des parcelles des exploitations en fonction de l'accessibilité à l'eau pour les différents types d'exploitation des quatre localités étudiées.	42
Tableau 3-9: Répartition des taches des activités agricoles dans une exploitation agricole ..	43
Tableau 4-1: Traduction de la perception paysanne de bonne et mauvaise saison culturale.	54
Tableau 4-2: Effectif des parcelles cultivées en riz ayant été labourées et semis durant trois périodes et rendement rizicole correspondant en fonction de l'arrivée de la pluie.....	58
Tableau 4-3: Moyenne de la quantité de main d'œuvre utilisée pour quatre activités culturelles dans les localités étudiées.	60
Tableau 4-4 : Prix générale de la main d'œuvre journalière suivant la durée de travail.....	60
Tableau 4-5: Fréquence de distribution du riz et des autres cultures sur les différents terroirs de quatre localités du Lac Alaotra.....	62
Tableau 4-6: Variation de la production rizicole selon trois variétés de culture dans les quatre zones de la région du Lac Alaotra.	63
Critère de Définition.....	77
Tableau 5-3: Les caractéristiques des situations les plus semblables à la réalité (objectifs, main d'œuvre utile et corrélation) des localités étudiées autour du Lac Alaotra.	93

Tableau 5-4 : Tableau de référence des valeurs maximales des indicateurs obtenues à l'échelle régionale et exploitation pour la situation actuelle.	96
Tableau 5-5 : Tableau de résumé de la sensibilité des exploitations agricoles face aux changements climatique et démographique	134

Liste des Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques de chaque localité	178
Annexe 2 : Caractéristiques des ménages	178
Annexe 3: Superficie cultivée en Are	179
Annexe 4: Programation du modèle	180
Annexe 5 : Somme de surface ayant eu une activité par mois et par localité.....	201
Annexe 6 : Les caractéristiques typologiques des exploitations : taille et distribution des parcelles, type d'outillage utilisé et nombre de bovin en possession	203
Annexe 7 : Caractéristiques des ménages : taille de la famille, recettes et dépenses des activités agricoles et non agricoles	207
Annexe 8 : Données pluviométriques de l'Alaoira de 1977 à 2007.....	212
Annexe 9: Formulaire d'enquête	213
Annexe 10 : <i>Méthode de lecture des radars</i>	219

Introduction Générale

Madagascar est un pays en voie de développement dont l'économie est basée sur l'agriculture. La principale culture qui constitue l'aliment de base des malgaches est le riz. La consommation de cette denrée est l'une des plus élevée au monde avec environ 120 kg.personne⁻¹.an⁻¹(BAD, 2003). Malheureusement, la production en riz des exploitations malgaches dont les moyens de production sont peu développés n'arrivent pas à satisfaire la consommation nationale. En outre, une forte pression exercée par la croissance démographique est constatée sur les milieux naturels et cultivés. Les milieux naturels et les exploitations agricoles, déjà fortement tributaires des diverses conditions climatiques, se trouvent ainsi vulnérables vis-à-vis de l'amplification des conséquences des changements et variabilité climatiques. La connaissance de cette vulnérabilité des exploitations agricoles est primordiale pour l'élaboration des stratégies d'adaptation. Malgré le manque de moyens et l'insuffisance des connaissances pour affronter les changements, les paysans essaient de s'adapter en mobilisant leurs savoirs et expériences pour faire face à ces changements.

Les exploitations agricoles malgaches sont souvent confrontées à deux types d'aléas climatiques, à savoir la sécheresse qui frappe plus particulièrement la région Sud, et les tempêtes tropicales (8 à 10 cyclones en moyenne par saison), entraînant des inondations. La vulnérabilité vis-à-vis de ces aléas climatiques varie selon la région et la taille de l'exploitation. En zone rurale, les plus vulnérables demeurent les petits exploitants et les petits éleveurs. Cependant, les connaissances et informations pour cerner la variation spatiale des différentes composantes de la vulnérabilité climatique et de la capacité d'adaptation des systèmes agraires malgaches aux changements climatiques sont encore suffisantes.

Face à cela, l'Etat Malagasy a institué le PANA (Programme d'Adaptation Nationale) pour prendre des mesures d'adaptation afin de prévenir ou de réduire les effets négatifs des changements climatiques. Dans le cadre de ce programme s'insère le projet ACCA ou Adaptation aux changements climatiques en Afrique, un projet relatif à la vulnérabilité des systèmes agraires aux changements climatiques à Madagascar. Les analyses en termes de développement durable adapté aux risques des changements climatiques s'appuient sur la vision du futur et sur l'analyse du fonctionnement des systèmes d'exploitation agricole. Aussi, le développement de nouvelles connaissances permettra t-il de minimiser les risques occasionnés par la variabilité climatique.

Les paysans malgaches essaient tant bien que mal de faire face à une telle variabilité. Ils utilisent déjà des pratiques anti-risques à différents niveaux selon leurs expériences, leur perception de la variabilité climatique, leurs niveaux de connaissances et la situation dans laquelle ils se trouvent (économique, financière, sociale...). C'est dans ce cadre que cette étude est proposée. Tout en se basant sur la formule (Luers, 2005), l'identification, la

hiérarchisation et la quantification des indicateurs de la vulnérabilité face aux aléas climatiques constituent des outils indispensables pour la prise de décision. Le développement de nouvelles connaissances en matière de vulnérabilité permettra ainsi de minimiser les risques occasionnés par la variabilité climatique sur la production et de maximiser les profits (revenus agricoles, épargne, etc.).

Par ailleurs, le gouvernement malgache, dans le cadre du Madagascar Action Plan (MAP), compte doubler la production rizicole d'ici fin 2012. Or, ce secteur reste encore fortement tributaire des aléas climatiques. Le degré d'incidence de ces derniers sur les exploitations rizicoles et sur les différents composants du système d'exploitation agricole dépend surtout de leur niveau de vulnérabilité et du type d'adaptation qui s'y opère au cours du temps.

Tout comme les mesures préconisées dans le protocole de Kyoto pour rétablir l'équilibre écosystémique parlant des gaz à effet de serre¹, une des solutions dans le domaine de l'agriculture est de réduire les incidences des aléas climatiques et de développer des stratégies d'adaptation. Toute décision relative aux techniques de production est considérée comme une solution aux problèmes auxquels chaque ménage est confronté. Chaque mode de fonctionnement de l'exploitation agricole est donc considéré comme un type d'adaptation à la combinaison de plusieurs contraintes (économique, moyens techniques, taille de la famille, financière, etc.). Toutefois, c'est au niveau des exploitations agricoles qu'on peut trouver les différents types de fonctionnement du système et où chaque exploitant ou « fermier » décide de ce qu'il va faire et de la façon de s'y prendre (Koeijer *et al.*, 1999). L'étude de la vulnérabilité des exploitations rizicoles face aux changements climatiques dépendra alors principalement de la typologie et du fonctionnement de chaque exploitation agricole. Pour cela Alaotra est le mieux concerné, étant donné qu'il est le principal grenier à riz de Madagascar.

Peu de travaux ont jusqu'ici associé le changement démographique et la variabilité climatique au changement de mode d'usage des terres et à la production agricole en générale. Et en considérant les deux facteurs que subit le système agraire dans la région du Lac Alaotra Madagascar, la situation nous amène à poser la question suivante : **« les systèmes agraires de la région du Lac Alaotra sont-ils vulnérables aux variabilités et aux changements climatique et démographique ? »**.

Cette étude consiste à étudier « comment gérer les exploitations agricoles de manière à faire face aux aléas climatiques d'un côté et d'obtenir une production maximale ainsi que d'assurer la sécurité alimentaire de l'autre ». Il s'agit alors de voir les interactions qui s'opèrent au sein et parmi les différents composants ainsi que la sensibilité de chaque composant du système afin de, premièrement, pouvoir intervenir sur les facteurs contrôlables tels que le calendrier cultural, la quantité d'intrants organiques ou minérales,

¹ Pour les gaz à effet de serre notamment le dioxyde de carbone, les mesures sont :

- Conservation du stock actuel de CO₂
- Substitution de l'énergie fossile
- Séquestration biologique du carbone

les variétés de semences , ou la gestion de la main d'œuvre et, deuxièmement, de limiter les influences des facteurs non contrôlables et en particulier les facteurs climatiques. Cette étude a été menée dans la région du lac Alaotra (Madagascar) en milieu paysan, une zone hautement rizicole.

Aussi, l'objectif général de l'étude est de **(i) décrire le système agraire de la région du Lac Alaotra tout en considérant les changements climatiques et démographiques, (ii) établir un modèle de simulation du fonctionnement du système agraire de cette région en se basant sur la superficie cultivable disponible ainsi que sur les ressources humaines, (iii) prédire la vulnérabilité et la capacité d'adaptation du système en fonction des facteurs climatiques et démographiques.**

Hypothèses de l'étude

Les hypothèses testées au cours de cette étude sont les suivantes :

- L'évolution du système agraire est étroitement liée aux changements démographique et climatique ;
- La modélisation permet de décrire et de prédire l'évolution du fonctionnement du système par rapport aux variabilités climatique et démographique ;
- L'accessibilité à plusieurs terroirs permet de limiter les effets des changements démographiques et climatiques.

L'hypothèse 1 est testée à partir de la typologie des exploitations agricoles dans la région d'Ambatondrazaka. Dans une première partie, une description de l'évolution du système agraire dans la région a été effectuée, ensuite, des travaux de reconnaissance sur le terrain et d'enquête préliminaire doublée de la cartographie ont été réalisés en vue de choisir les localités représentatives de la région pour mener l'étude (chap3). A partir d'une enquête auprès des exploitants agricoles des localités choisies, une étude sur la perception paysanne du changement climatique a été réalisée et confrontée par la suite avec des données mesurées à partir de station météorologique dans le but d'avoir une idée sur la variabilité climatique dans la région. Ensuite, une étude sur l'évolution des pratiques agricoles pour déterminer et comprendre les causes de changements de pratique a été menée (chap. 4).

L'hypothèse 2 est testée à partir d'une élaboration de modèle bio-économique suivant une synthèse des données collectées à l'issue des enquêtes auprès des exploitations agricoles de chaque localité étudiée. La modélisation a été divisée en trois étapes : (i) l'établissement du modèle, (ii) la validation du modèle avec la réalité et (iii) la prédiction de l'évolution du mode de fonctionnement des exploitations de chaque localité (chap5).

L'hypothèse 3 est testée à partir d'une analyse de scénario de vulnérabilité des exploitations agricoles face à la variabilité climatique et au changement démographique, et des paramètres pouvant influencer sur le système (chap. 4 et 6).

Cette thèse est alors organisée en six parties dont :

- Première partie : l'état de connaissances. Elle se focalise surtout sur le changement climatique (causes, aspects et conséquences), le système agraire, la sécurité alimentaire, la place du riz dans le monde et à Madagascar, pour en finir avec l'Alaotra et la riziculture.
- Deuxième partie : les matériels et méthodes. Elle décrit le milieu d'étude et la méthodologie générale utilisée durant la réalisation de cette étude
- Troisième partie : elle est consacrée à la description du système agraire dans le lac Alaotra.
- Quatrième partie : elle concerne le changement des pratiques agricoles face aux variabilités climatique et démographique
- Cinquième partie : elle se focalise sur l'établissement du modèle, sa description et son utilité.
- Sixième partie : elle décrit la vulnérabilité du système agraire à l'échelle de l'exploitation et de la localité.

Pour terminer avec une conclusion générale et les perspectives.

Chapitre. I- Etat des connaissances

I- Changement climatique

I.1- Changement climatique dans le monde

De nos jours, l'homme se rend compte de l'effet de ses actes sur la disparition de la biodiversité et sur le réchauffement du globe. Cela se manifeste dans l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (GIEC, 2007). D'après l'histoire, le climat de notre planète n'a jamais été statique. Il subit un phénomène cyclique de succession de réchauffement et de refroidissement. Ce phénomène obéit aux lois physiques de « la tendance vers l'équilibre » qui régissent le fonctionnement de tous les écosystèmes naturels (Harrington, 1987; Easterling, 1990). Mais depuis deux décennies, plus précisément à partir de la révolution industrielle, on assiste à une hausse anormale de la température de l'ordre de 0.6 à 1°C entre 1850 et 2000 (GIEC, 2007). Cette variation connue sous le nom de changement climatique est au centre de vives discussions au niveau international en matière d'environnement et fait l'objet de nombreuses activités de recherches à travers le monde.

Les effets du changement climatique et les conséquences du réchauffement de la terre sont désastreuses : sécheresse, inondations, perte de biodiversités, catastrophes naturelles. (IPCC, 2001). Les pays qui contribuent le moins aux causes du changement climatique sont les plus touchés et les plus vulnérables à ses impacts. Aussi est venu le concept de « pollueur payeur » (Adger, 2006; Fussel, 2010). Géographiquement, les populations vivant dans des zones arides ou semi-arides, dans des zones côtières de basse altitude, dans des zones assujetties à l'inondation ou encore sur des petites îles sont particulièrement les plus vulnérables (Mirza, 2003).

Ce changement climatique est dû à de nombreux facteurs : astronomique, géologique, océanique, atmosphérique ainsi qu'à l'action anthropique. Ce dernier facteur est l'un des plus importants à l'échelle de la durée de vie de l'homme.

Une des principales causes avancées à l'heure actuelle de ce réchauffement de la terre est la croissance du taux des gaz qui ont le pouvoir d'emmagasinier les rayons solaires réfléchis par la terre dans l'atmosphère et qu'on appelle les gaz à effet de serre (CO_2 , NH_4 , N_2O ...). Ces gaz sont d'origines diverses, mais l'action de l'homme y est très importante.

A partir du moment où l'homme s'est rendu compte des effets néfastes de ses actions sur la croissance de certains GES dans l'atmosphère ainsi que sur le climat, l'inquiétude internationale à l'égard de GES et de leur incidence sur le réchauffement du globe a entraîné des discussions portant sur les mesures de réduction possibles. Aussi, est-il jugé nécessaire de trouver des mesures d'atténuation. Au niveau mondial, une mesure préconisée pour rétablir l'équilibre éco systémique a été adoptée : il s'agit de l'accord (le protocole) de Kyoto

(P K) afférant à la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC ou UNFCCC) en 1992, parlant de la limitation d'émission des gaz à effet de serre.

I.2- Changement climatique à Madagascar

Les effets du changement climatique sont perceptibles à Madagascar. Ils se manifestent par des événements climatiques soudains, plus fréquents, mais aussi par des modifications à long terme et continues tel le réchauffement significatif qui se manifeste par une augmentation des températures moyennes de l'air sur l'ensemble du territoire (Figure 1-1). Depuis 1950, les valeurs moyennes annuelles des précipitations, pour la partie Est de Madagascar, ont tendance à diminuer alors que celles des températures augmentent (Figure 1-2). Pour la partie Ouest, les précipitations ont tendance à augmenter avec la température. La détection des changements des précipitations annuelles s'avère difficile car la pluviosité annuelle peut être constante, mais c'est surtout la répartition des pluies au cours de l'année qui varie (Rapport-national-d'investissement-Madagascar, 2008). Ces événements perturbent énormément le calendrier cultural, entraînant des chutes de rendement et provoquant également des dévastations de cultures par inondation et ensablement des parcelles.

Madagascar n'est pas en marge de la politique de limitation des effets du changement climatique. Le Gouvernement a officiellement ratifié ce PK, le 23 Septembre 2003 suivant la Loi n° 2003-009 du 03.09.03 et élaboré son Plan d'Action National d'Adaptation (PANA) aux changements climatiques (MINENVEF, 2005).

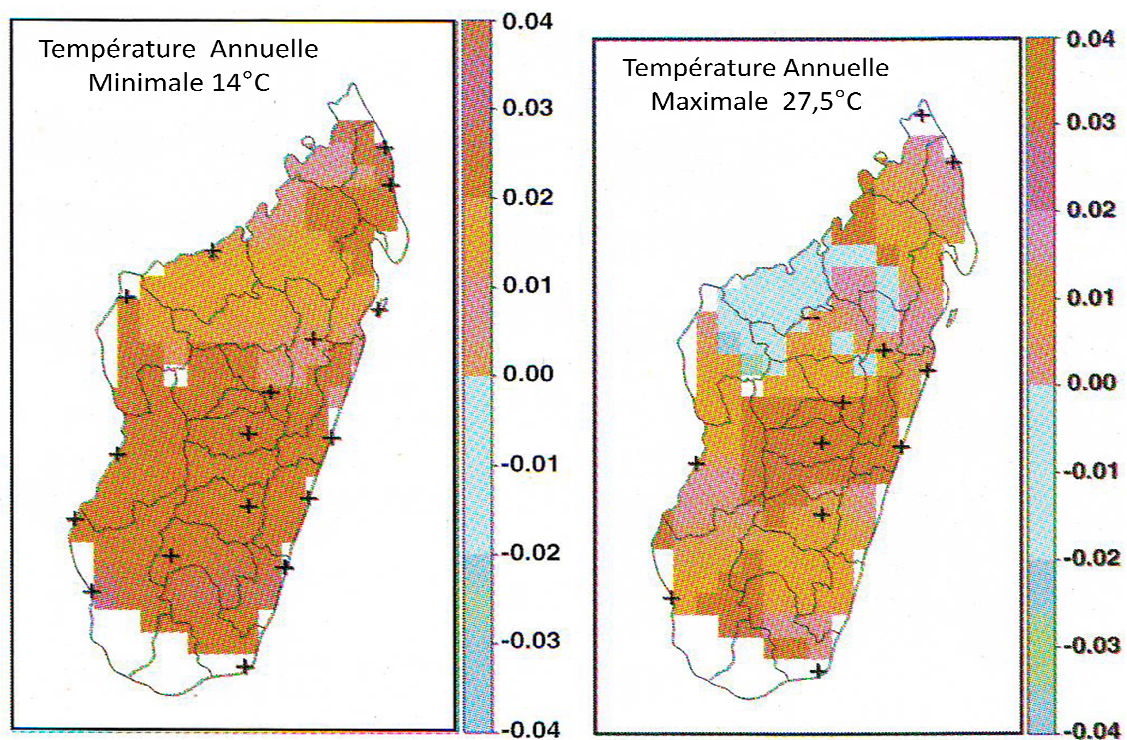


Figure 1-1 : Variation de la température Minimale et Maximale de 50 ans à Madagascar

Source : Le changement climatique à Madagascar Direction Générale de la Météorologie Mars 2008

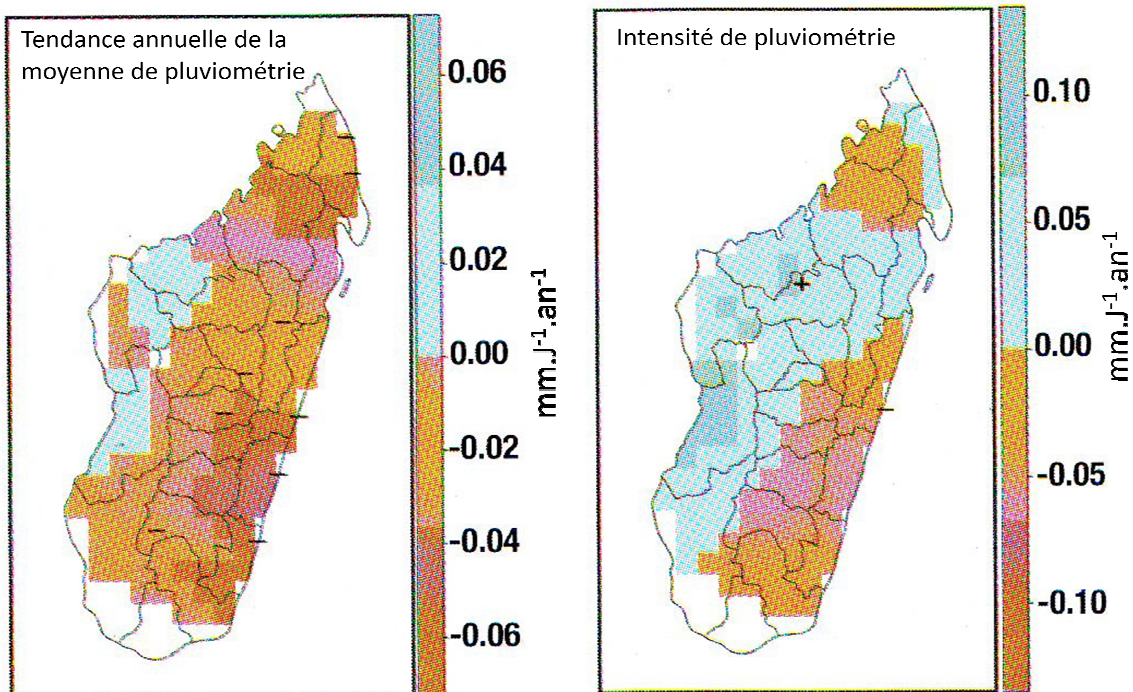


Figure 1-2 : Tendance annuelle de la moyenne et intensité de la pluviométrie depuis 50 ans à Madagascar.

Source : Le changement climatique à Madagascar Direction Générale de la Météorologie Mars2008

II. Le système agraire à Madagascar

Le concept du système agraire est basé sur la relation entre un écosystème cultivé et le système social productif qui lui correspond. Il permet d'étudier l'organisation et le fonctionnement d'un type d'agriculture ainsi que ses relations avec l'ensemble de l'économie et de la société. Cela conduit également à élaborer une typologie des systèmes agraires (Mazoyer and Roudart, 1997). A Madagascar, le secteur agricole est dominé essentiellement par une agriculture extensive irriguée ou pluviale et par un élevage extensif. C'est une agriculture de subsistance basée sur l'utilisation des pratiques agricoles traditionnelles. Des efforts pour l'intensification agricole ont été entreprises depuis l'époque royale (Raison, 1972). Toutefois, depuis quelques décennies, ils ont été renforcés par le gouvernement pour assurer la sécurité alimentaire. Des efforts qui n'ont pas eu de réels impacts sur la production agricole (Razafimbelo, 2005).

En 2007, l'agriculture, ou plus précisément le secteur primaire, contribuait à hauteur de 27,2% dans le PIB national. La production agricole a connu une croissance de 2,9% contre 2,6% en 2006 (Rapport-national-d'investissement-Madagascar, 2008). Selon le recensement de l'agriculture pour la campagne agricole 2004 – 2005, les céréales dominent les superficies cultivées à Madagascar : la riziculture occupe une superficie de 1 250 000 ha (pluvial et irrigué²) et le maïs est cultivé sur 252 838 ha. Cultivées sur 560 351 ha, les racines et tubercules (manioc, patate douce, pomme de terre, tarot) constituent le groupe des cultures le plus important après les céréales. (INSTAT, 2007; Rapport-national-d'investissement-Madagascar, 2008).

Par ailleurs, le financement des exploitations agricoles familiales a des caractéristiques et des contraintes spécifiques qui le rendent complexe. Une des premières spécificités est liée au caractère risqué des activités agricoles. En effet, elles dépendent de différents facteurs externes comme les aléas climatiques, sanitaires et économiques qui restent très peu maîtrisables. Les revenus agricoles sont donc soumis à des variations plus ou moins importantes. A cela s'ajoute le problème de saisonnalité des activités et donc la concentration des revenus à certains moments de l'année. La difficile mobilisation de l'épargne et la diversité des besoins en financement des exploitations sont également des sources de difficulté pour le financement agricole. En effet, le budget de l'exploitation agricole est souvent inclus dans le budget global du ménage et les besoins de financement des activités dépendent des besoins pour la consommation, l'éducation, les besoins sociaux (Oustry, 2007).

² Au sens large : système avec apport d'eau complémentaire ou sensu stricto : avec maîtrise de l'irrigation et du drainage

III- Les différentes zones agro-climatiques à Madagascar

Plusieurs zones agro-climatiques existent à Madagascar. Chacune d'elle possède un système de production bien défini avec des techniques d'adaptation différentes (Figure 1-4). On distingue à Madagascar cinq grandes zones suivant le nombre de jours humides : (i) la partie orientale longeant toute la côte Est de l'île avec plus de 255 jours de pluie, (ii) une partie du versant oriental avec des jours humides allant de 165 à 255, (iii) la partie centrale de l'île et vers la baie de Sambirano avec 110 à 165 jours humides, (iv) le Nord Ouest comprenant en majorité les plateaux du Tampoketsa avec de jours humides comprises entre 75 et 110 ; et (v) la partie Sud Ouest avec moins de 75 jours humides. Le versant oriental, exposé aux alizés du Sud-Est est uniformément arrosé par des pluies abondantes pendant pratiquement toute l'année : il bénéficie ainsi d'un climat de type sub-équatorial. Le versant occidental où l'alizé du Sud-Est n'exerce pas son influence, a un climat de type tropical à saison de pluie alimentée par une mousson d'été venant du Nord-Ouest de Novembre à Mars et à saison sèche bien marquée d'Avril à Octobre.

IV- Sécurité alimentaire

La sécurité alimentaire existe quand la population a un accès suffisant, sûr et nutritif pouvant satisfaire ses besoins diététiques à tout moment. Les ressources naturelles est une des facteurs influant cette sécurité alimentaire (Vrieling *et al.*, 2011). 850 millions de personnes dans le monde souffrent de la sous-nutrition (FAO, 2007), dont 3.8% se trouvent en Afrique australe (Lobell *et al.*, 2008)(Figure 1-3).

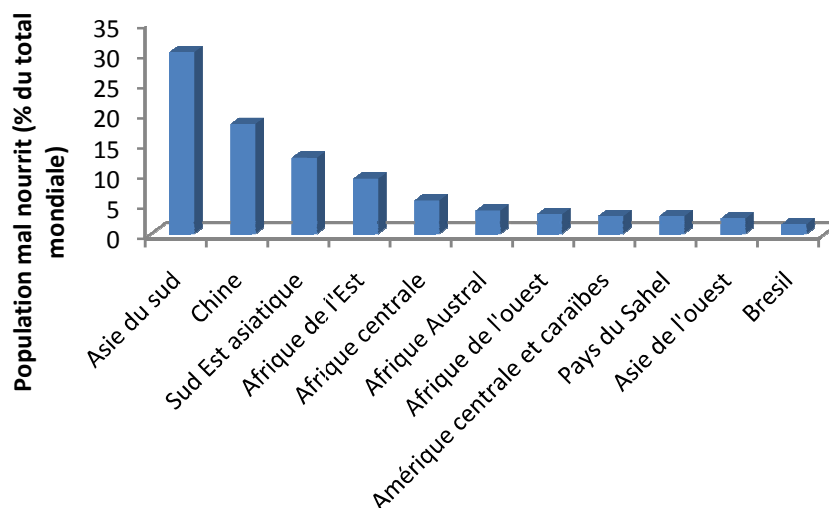


Figure 1-3 : Fréquence du nombre de populations mal-nourries dans différents pays.

Source : Lobell *et al.*, 2008

Pour Madagascar, l'insécurité alimentaire reste un problème à résoudre. Il est estimé que 8% de la population totale souffrent de l'insécurité alimentaire chronique, alors qu'environ un ménage sur deux connaît une insécurité alimentaire temporaire ou saisonnière particulièrement en période de soudure ([Rapport-national-d'investissement-Madagascar, 2008](#)).

Depuis une trentaine d'année, la sécurité alimentaire s'est dégradée dans le pays et la sous-nutrition touche 36% de la population (MD /WFS). Selon le Plan d'Action National pour la Sécurité Alimentaire (PANSA), la diminution du revenu réel par habitant explique entre autres que le niveau de satisfaction des besoins énergétiques soit passé en moyenne de 2490 à 2000kcal/habitant/jour entre 1975 et 2005. La faible disponibilité du riz est l'une des raisons principales de l'insécurité alimentaire à Madagascar.

Dans la plupart des régions et pour l'immense majorité des familles, la sécurité alimentaire signifie avant tout la disponibilité d'une ration suffisante en riz qui apporte 50 à 55% des calories dans la ration moyenne au niveau national, mais jusqu'à 70% dans certaines zones rurales. Or, le prix du riz peut varier fortement dès qu'un surplus ou un déficit apparaît du fait de la forte rigidité de la demande. Si Madagascar était exportateur net jusqu'en 1970, les importations se sont développées dans les années 70 et 80 à la suite de la désorganisation des marchés (nationalisation), puis plus récemment suite à une libéralisation hasardeuse pour les importateurs ([Rapport-national-d'investissement-Madagascar, 2008](#)). La production de riz n'a pas suivi l'augmentation de la demande. Le faible taux d'augmentation de la production de riz (0.5% /an entre 1990 et 1996), largement inférieur au taux de croissance démographique, est loin de satisfaire les besoins alimentaires de la population. Madagascar n'atteint donc pas l'autosuffisance en riz et se place ainsi comme importateur net (en 2005 : 278 000 tonnes de riz blanc importées pour une production de 2,2 millions de tonnes en équivalent de riz blanc) ([Bedoin, 2006](#)). Depuis 1999, les importations de riz évoluent entre 95 000 et 317 000 t selon le niveau de production nationale (alors qu'elles n'étaient que de 50 000 t en moyenne dans les années 1990 ([FAO](#))).

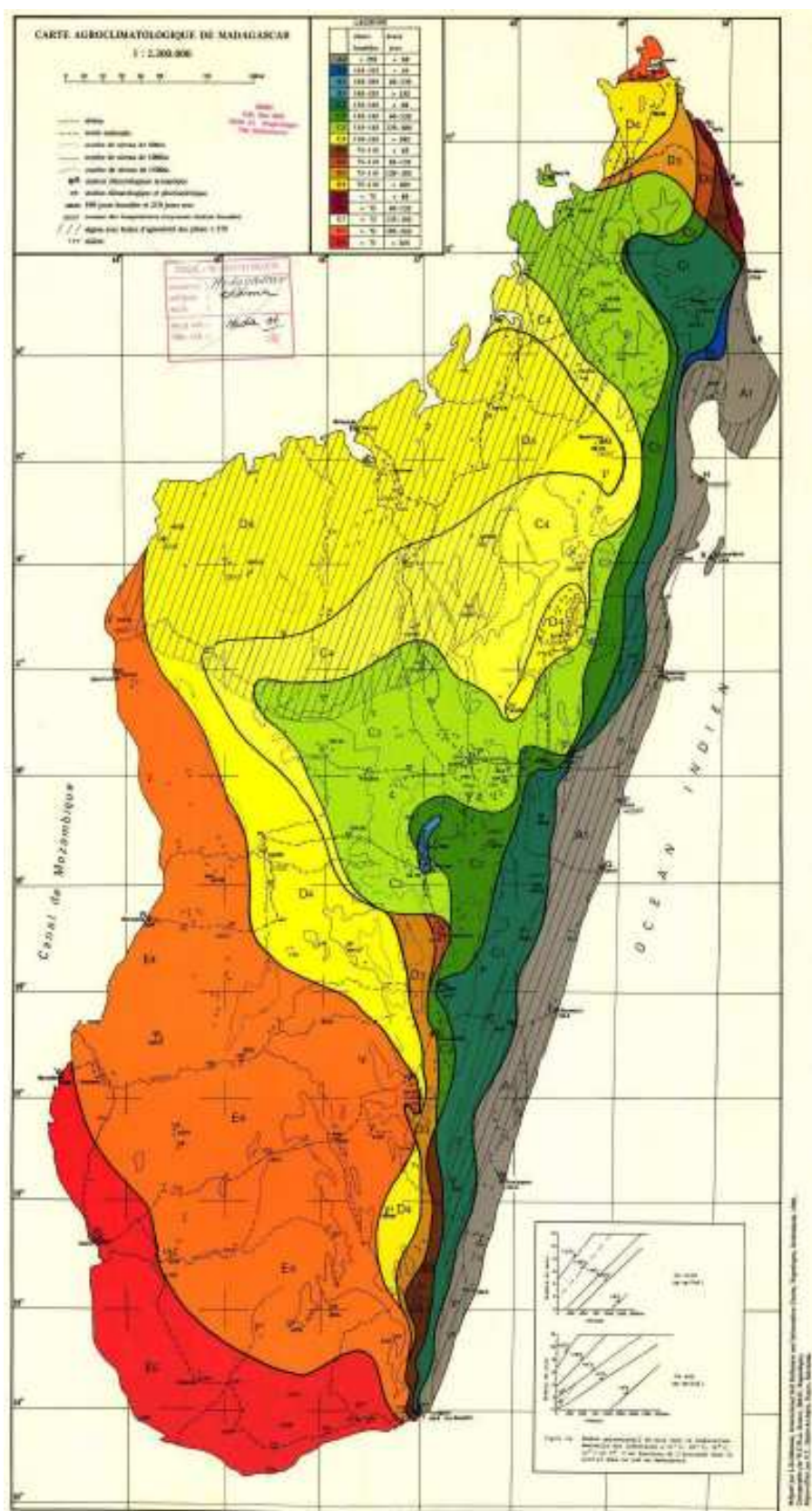


Figure 1-4 : Les zones agro-climatiques de Madagascar

Source : Oldmann 1988

V- Le riz dans le monde et à Madagascar

Le riz est devenu l'une des aliments de base dans certains pays africains (Becker and Johnson, 2001). Le riz irrigué dans l'Asie est presque saturé ; par contre, la superficie cultivable en Afrique est large et sous exploitée. Il est estimé qu'avec la même superficie cultivée actuellement, plus de 40% de la production rizicole sera utile en 2030 pour faire face à l'augmentation démographique (Khush, 2005). Par ailleurs, le riz est de loin la culture la plus importante à Madagascar (Minten, 2006). Il représente environ 50% de la valeur ajoutée dans l'agriculture et 45% des calories consommées par un Malgache moyen. Pourtant, parmi les rendements de riz à l'échelle mondiale, celui de Madagascar a systématiquement chuté pendant les quatre dernières décennies et figure actuellement parmi les plus bas (Dorosh et al., 2003), allant jusqu'à environ deux tonnes par hectare. La production de riz paddy est de 3640 millions de tonnes en 2006 (Rapport-national-d'investissement-Madagascar, 2008). Le riz a une très grande importance, puisqu'il entre dans les habitudes alimentaires de la majorité de la population, qui en consomme en moyenne trois fois par jour (consommation de 120 kg de riz par an par habitant, l'une des plus forte au monde). Plus de 70% des agriculteurs malgaches en produisent, en culture irriguée, pluviale ou selon des systèmes sur abattis-brûlis. Estimée à 1 250 000 hectares, la surface cultivée en riz représente plus des deux tiers de la surface totale cultivée (BAD, 2003).

Toutefois, depuis les années 70, Madagascar est devenu un pays importateur de riz du fait de l'évolution des conditions économiques générales et de la désorganisation périodique des structures (nationalisation puis libéralisation hasardeuse des importations).

VI- L'Alaotra et la riziculture

Le lac Alaotra est considéré comme le grenier à riz de toute l'île. Il est situé à environs 150 km (vol d'oiseau) au Nord Est d'Antananarivo, la capitale de Madagascar. On distingue une saison sèche bien marquée d'Avril à Octobre et une saison humide de Novembre à Mars. A Ambohitsilaozana³, la pluviométrie moyenne est de 1099 mm. L'irrégularité interannuelle est très forte, avec une variation sur 35 années (1944-1978) allant de 750 mm à 1841 mm. En plus, la moyenne du nombre des jours de pluie est de 60 jours, mais elle peut varier de 50 à 95 jours suivant les années. Cette irrégularité s'accorde mal avec un calendrier d'intensification basé sur des données moyennes. La rive orientale et le sud-est ont bénéficié de différentes infrastructures telles que réseaux routiers, stations agricoles, voies ferrées, tandis que, sur la rive occidentale et le Sud-Ouest, ont été effectués de grands travaux hydrauliques. La région possède plus de 80000 ha de plaines cultivables.

Le système agraire y est dominé par la riziculture irriguée et intensive. Le lac Alaotra est exportateur net de riz et alimente plus du tiers de riz commercialisé dans l'île. Terre d'émigration, il a vu sa population exploser depuis 1897, avec une mise en valeur des terres

³ Ambohitsilaozana est une localité située sur la rive Est du lac où est située une station météorologique.

inondées, puis exondées devant la pression démographique et la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire de ses habitants. La population du lac Alaotra, aussi bien originaire qu'immigrante, a su développer le potentiel important de cette cuvette par le biais de l'acquisition des savoirs et le développement de savoirs faire, enrichi de l'intégration des migrations (Penot, 2009). Actuellement, six types de pratiques rizicoles peuvent être observés à savoir le riz semi direct qui produit en moyenne 1.86 T.ha^{-1} , le riz repiquée en foule avec 2.82 T.ha^{-1} , le SRA avec 3.66 T.ha^{-1} , le SRI avec 4.74 T.ha^{-1} , le riz pluvial avec 1.96 et le riz Tavy ou riz sur brulis avec 0.62 T.ha^{-1} (Bockel in (Penot, 2009). Toutefois, ils peuvent être regroupés en deux catégories dont le riz pluvial qui, par définition, a besoin de la pluie pour être cultivé, et le riz irrigué avec des possibilités de drainage de l'eau. Les itinéraires techniques varient selon les terroirs.

L'intensification agricole concerne le riz irrigué de saison des pluies. Elle date de 1965 avec l'ORA (Opération Riz Alaotra) dont le projet prévoyait la vulgarisation d'une « méthode rationnelle et intensive de la riziculture » visant l'augmentation des rendements. Les principaux thèmes furent appliqués dès la campagne rizicole 1965-66 selon le même schéma que sur les Hautes Terres centrales, région de tradition rizicole. Cette intensification rizicole repose sur des itinéraires très stricts ; la maîtrise de l'irrigation en est une des conditions essentielles. Le calendrier cultural normalisé est l'élément-clef du « paquet technologique » ; c'est de son application que dépendent les effets bénéfiques des autres thèmes intégrés dans le calendrier à des étapes bien précises. On constate une grande rigidité : une seule formule d'engrais, une seule quantité de semences, une seule variété, un calendrier très strict sur les « bonnes dates » pour chaque travail. (Blanc-Pamard, 1987).

Beaucoup de facteurs peuvent influencer sur la production agricole (types de sols, superficie cultivée, quantité d'intrants, variété utilisée, accès à l'eau, etc...). Dans le domaine de l'agriculture, tous les composants d'un système, quoiqu'ils soient interdépendants, tiennent un rôle bien déterminé dans le fonctionnement de l'exploitation et influent sur la production agricole. Une façon pour identifier les indicateurs-clés est de considérer les changements majeurs associés avec usage agricole: occupation des sols, érosion, fertilisation et usage de l'eau (Dale and Polasky, 2007). Cette étude se focalise sur l'influence des facteurs climatiques et démographiques étant donné que ce sont deux facteurs majeurs de la diminution de la production.

VII- Evolution démographique

Madagascar compte 18,866 millions d'habitants en 2008 dont 5,786 millions vivent en milieu urbain et 13,080 millions en milieu rural (INSTAT, 2010). La croissance démographique au niveau national est de 2,7% par an (PNUD, 2010).

Pour le cas du lac Alaotra, depuis 40 ans, la démographie de la région est marquée par une forte immigration de familles paysannes attirées par la richesse de la cuvette. L'augmentation de la population (elle a triplée depuis 1960), a conduit à une saturation foncière et à une pression grandissante sur les ressources naturelles ([Durand, 2007](#)).

La rapide croissance démographique et la pauvreté accrue de la population malgache, conjuguées à une vulnérabilité des milieux, font peser de fortes menaces sur la préservation des ressources naturelles et la pérennité des formes d'agriculture qui les exploitent ([Ranaivoarisoa et al., 2010](#)).

VIII- Indicateur de Vulnérabilité du système agraire Malgache

Un indicateur est un paramètre ou une valeur calculée (indice, index) à partir d'un ensemble de paramètres. Il doit fournir des informations sur un phénomène qui affecte le système ou sur l'état de ses composants ([Pontanier and Floret, 2003](#)). Les valeurs des indicateurs, aux cours des périodes d'observation, sont confrontées à des valeurs repères, afin de déterminer les tendances d'évolution et le franchissement des seuils d'irréversibilité. L'observation et le suivi du changement et de l'évolution d'un système peuvent s'effectuer à différentes échelles de l'organisation des espaces (du local au régional).

Chapitre II - Matériels et Méthodes

I- Site d'étude

I.1- Localisation géographique

L'étude a été menée dans la région du lac Alaotra ($17^{\circ}10'$ à $18^{\circ}S$; $48^{\circ}10'$ à $48^{\circ}40'E$), localisée à 150 Km (vol d'oiseau) au Nord Est de la capitale (Figure 2-1).

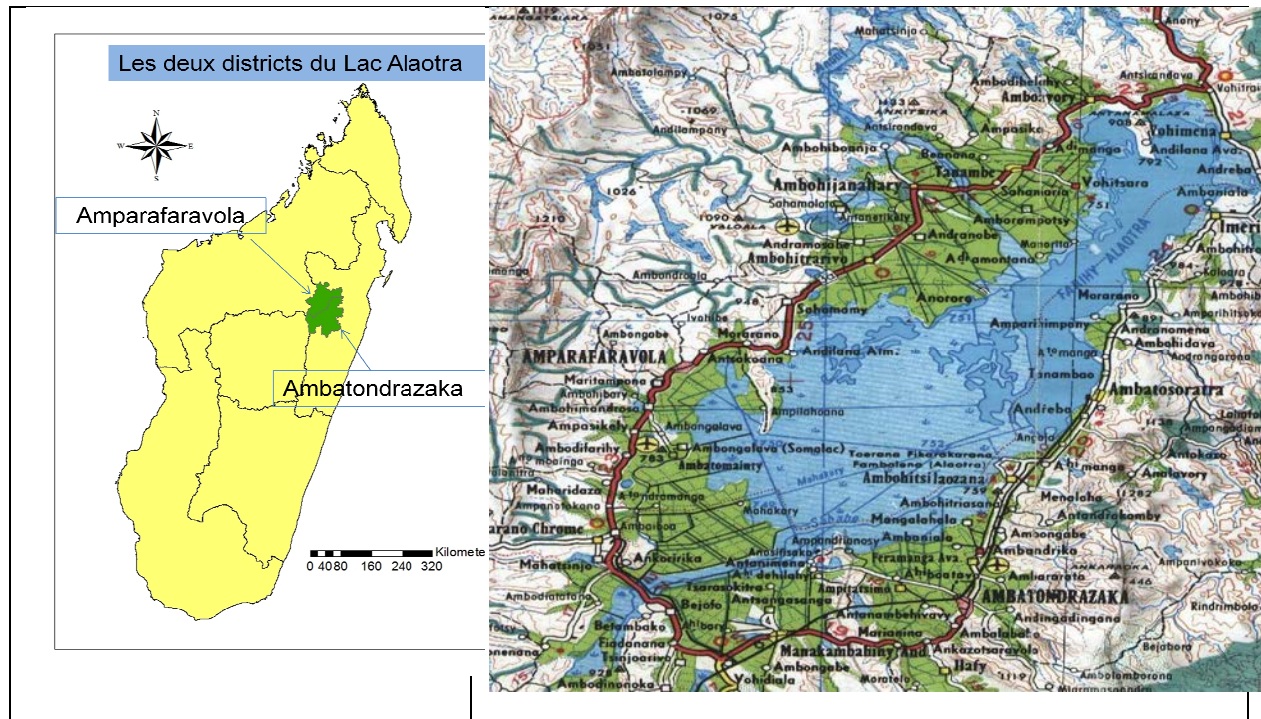


Figure 2-1 : Carte de localisation de la zone d'études

I.2- Géologie

Le substratum rocheux de la région du lac Alaotra est composé de diverses roches cristallines (gneiss, migmatites, granites d'origine précambrienne) ou sédimentaires et métamorphisées (schistes, grès) qui ont subi en alternance plusieurs cycles d'orogénèse et d'aplanissement (Bedoin, 2006).

I.3- Topographie

Le relief est marqué par la cuvette de l'Alaotra qui est un vaste plateau intermédiaire, situé au milieu des plateaux de la région centrale de Madagascar (UPDR, 2003). L'altitude moyenne est de 700 m. Au pied de l'Angavo, cette cuvette d'effondrement d'origine partiellement tectonique est entourée d'un ensemble de collines culminant à 1500 mètres d'altitude. Elle est remblayée par des sédiments lacustres pléistocènes qui forment des buttes résiduelles culminant entre 800 et 970m. Dans la cuvette, une vaste dépression à fond plat s'étend sur une superficie approximative de 1 800 km² (long de 70 km et large de 30 km environ). En avançant vers l'intérieur, dans la zone la plus basse de la cuvette se trouvent les eaux libres ayant une superficie de 200 km². Six types d'étages écologiques ou terroirs existent dans la

région du Lac Alaotra: flanc de collines ou « *Tanety* », les bourrelets de Berge ou « *Baiboho* », les bas fonds, les rizières hautes ou « *Tanimbary saro-drano* », les rizières basses ou « *Tanimbary tsara rano* » et les rizières au bord du lac ou « *tanimbary amorondrano* ». Les trois premiers constituent les terroirs pluviaux et les trois derniers, les terroirs irrigués.

I.4- Climat de l'Alaotra

Le climat de l'Alaotra présente deux traits essentiels : une saison fraîche et sèche du mois d'Avril au mois d'Août et une saison chaude et pluvieuse du mois d'Octobre au mois de Mars. La pluviométrie de la région de l'Alaotra varie de 1000 à 2000 mm de hauteur annuellement, et de 0 à 900 mm mensuellement(Randrianaivo, 1982). La moyenne annuelle de température avoisine les 20°C. Toutefois, la variation climatique actuelle de l'Alaotra présente une tendance vers un raccourcissement de la période de pluie.

II- Matériels de recherche

II.1- Enquêtes préliminaires

Des enquêtes préliminaires ont été menées dans quatre localités ou communes autour du Lac Alaotra, auprès des responsables administratives au niveau de la région, des communes et des villages (fokontany).

Dans un premier temps, les enquêtes ont été réalisées auprès des responsables administratives au niveau régional en vue de déterminer la localité (commune) regroupant le plus de variabilité en terme biophysique, notamment le plus représentatif de la région en termes d'accessibilité aux terroirs et en termes socio-économiques. La commune d'Ambatosoratra a été choisie pour cela. Dans un second temps, les enquêtes se sont poursuivies auprès des responsables locaux et en particulier, auprès des chefs de village ou (chef Fokontany). A l'origine, deux localités regroupant trois villages (Amparihimpony, Andranomena et Ambohimizina) ont été retenues pour représenter la région. Elles sont représentatives de la région en termes de possession de terroirs ou étage écologique. Pour les deux localités, trente deux (32) exploitations ont été choisies suivant les critères d'accessibilité aux terroirs, de la superficie cultivée et du type d'outillage utilisé, pour une enquête détaillée. Plus tard, il a été jugé nécessaire d'ajouter des exploitations issues d'autres communes et villages pour compléter d'autres critères et pour pouvoir comparer les différentes pratiques. Ainsi, le village d'Ambohidava de la commune d'Ambatosoratra a été choisi de par l'existence de marché communale et pour équilibrer le nombre d'exploitations issues de la première vague d'enquête. Au final, 57 exploitations ont fait l'objet d'enquête dans la commune d'Ambatosoratra. Deux communes situées sur la rive

Ouest (Tanambe et Vohitsara) ont été également choisies. Elles sont dotées d'une grande superficie irrigable qui était autrefois aménagée par une société d'Etat : la SOMALAC (Société Malgache du Lac Alaotra). L'utilisation de moyens mécaniques et de fertilisation minérale y est également beaucoup plus fréquente. Ce qui différencie les deux dernières communes est que la majorité des parcelles de Tanambe sont dotées de la maîtrise de l'eau, tandis que celles de l'autre commune se trouvent au bord du lac et donc sensibles à un excès d'eau (remontée des eaux du lac). Une autre localité située sur la rive Est a été également choisie (Amparihintsokatra) à cause du relief dominé par des montagnes et dont la majorité des terroirs n'ont pas d'accès à l'eau. Ainsi, 46 exploitations issues de trois communes ont été ajoutées dont 16 pour la localité de Tanambe, 15 pour Vohitsara et 15 pour celle d'Amparihintsokatra (Tableau 2-1).

Le Logiciel Microsoft Excel a été utilisé pour la construction de la base de données.

Tableau 2.1: Base de données initiales

Localité	Nombre d'exploitations	Nombre de parcelles
Ambatosoratra	57	368
Amparihintsokatra	15	110
Tanambe	16	72
Vohitsara	15	67
Total	103	617

II.2- Enquête auprès des exploitants agricoles.

L'enquête utilisée est de type semi directif. Il a été réalisé en deux temps. En premier lieu, une enquête sur la perception paysanne du changement climatique a été réalisée lors d'une réunion de groupements paysans organisée par le projet, et a été confrontée avec les enquêtes au niveau des ménages. Elle s'est focalisée sur les périodes marquant le changement climatique perçu par les exploitants agricoles et la manifestation de ce changement. En second lieu, l'enquête s'est orientée sur la composition familiale, les différents composants de l'exploitation et de son mode gestion.

II.3- Spatialisation et description des terroirs

L'identification des terroirs et leur utilisation ont été réalisées à partir de prise de points recueillis à l'aide d'un GPS dans la localité d'Ambatosoratra. Les coordonnées géographiques des limites des différents terroirs et les parcelles enquêtées issues de la première enquête ont été prélevées. Elles sont ensuite converties en coordonnées Laborde, géo référencés,

puis superposées avec une photo aérienne. Le traitement a été réalisé par l'utilisation du logiciel de système d'information géographique (SIG) ArcGIS 9.2. Ainsi, une carte montrant les terroirs existants et les différentes parcelles a été réalisée.

II.4- Etablissement de la typologie d'exploitation

Les données issues des enquêtes ont permis d'établir une typologie d'exploitation par le biais de la classification ascendante hiérarchique. Toutefois, les données de base initiales ont été prétraitées. Les critères de classification sont (i) la surface cultivable par exploitation, (ii) la distribution des différentes parcelles suivant l'accessibilité à l'eau (terroir pluviale ou irrigué) et (iii) le type d'outillage utilisé.

La surface cultivable décrit la taille de l'exploitation. Généralement la possession de terre est une des principaux critères de différenciation de petite et grande exploitations. Ainsi, celles ayant une grande superficie cultivable sont appelées « grandes exploitations » par les paysans. La distribution des parcelles suivant l'accessibilité à l'eau permet également de caractériser le type d'exploitation.

Dans un contexte de changement climatique, l'accessibilité à l'eau est un indicateur qui pourrait avoir des effets limitant la vulnérabilité. Dans un pays où les pratiques de l'agriculture sont de type traditionnel ([Razafimbelo, 2005](#)), le type d'outillage utilisé est un critère de différenciation d'une petite et grande exploitations.

II.5- Collecte de données climatiques et démographiques.

Parallèlement aux travaux d'enquête auprès des paysans, les données climatiques (notamment la pluviosité) et démographiques ont été réunies grâce à un travail de documentation à la fois auprès des responsables administratives de chaque commune et auprès des services de la météorologie locale (Station d'Ambohitsilaozana) et nationale (Ampandrianomby).

III- Travail de modélisation

Le logiciel GAMS a été utilisé dans ce travail de modélisation. Il consistait à décrire le fonctionnement du système agraire à différents niveaux (échelle de l'exploitation agricole, échelle locale et échelle régionale), à valider le modèle et à prédire les scénarii de changements climatiques et démographiques. La modélisation a été réalisée en trois étapes à savoir l'établissement du modèle, sa programmation et son paramétrage. Le modèle utilisée est de type linéaire avec de multiples objectifs (MLGP).

L'établissement du modèle consistait à regrouper les données de manière à ce qu'elles puissent être lues par le logiciel.

La seconde étape consiste à programmer le modèle c'est-à-dire à transcrire les « input » et « output » du modèle par le langage du logiciel (Annexe).

La troisième étape consiste à paramétrer le modèle en vue d'un scénario de changement climatique et démographique.

IV- Evaluation du niveau de vulnérabilité

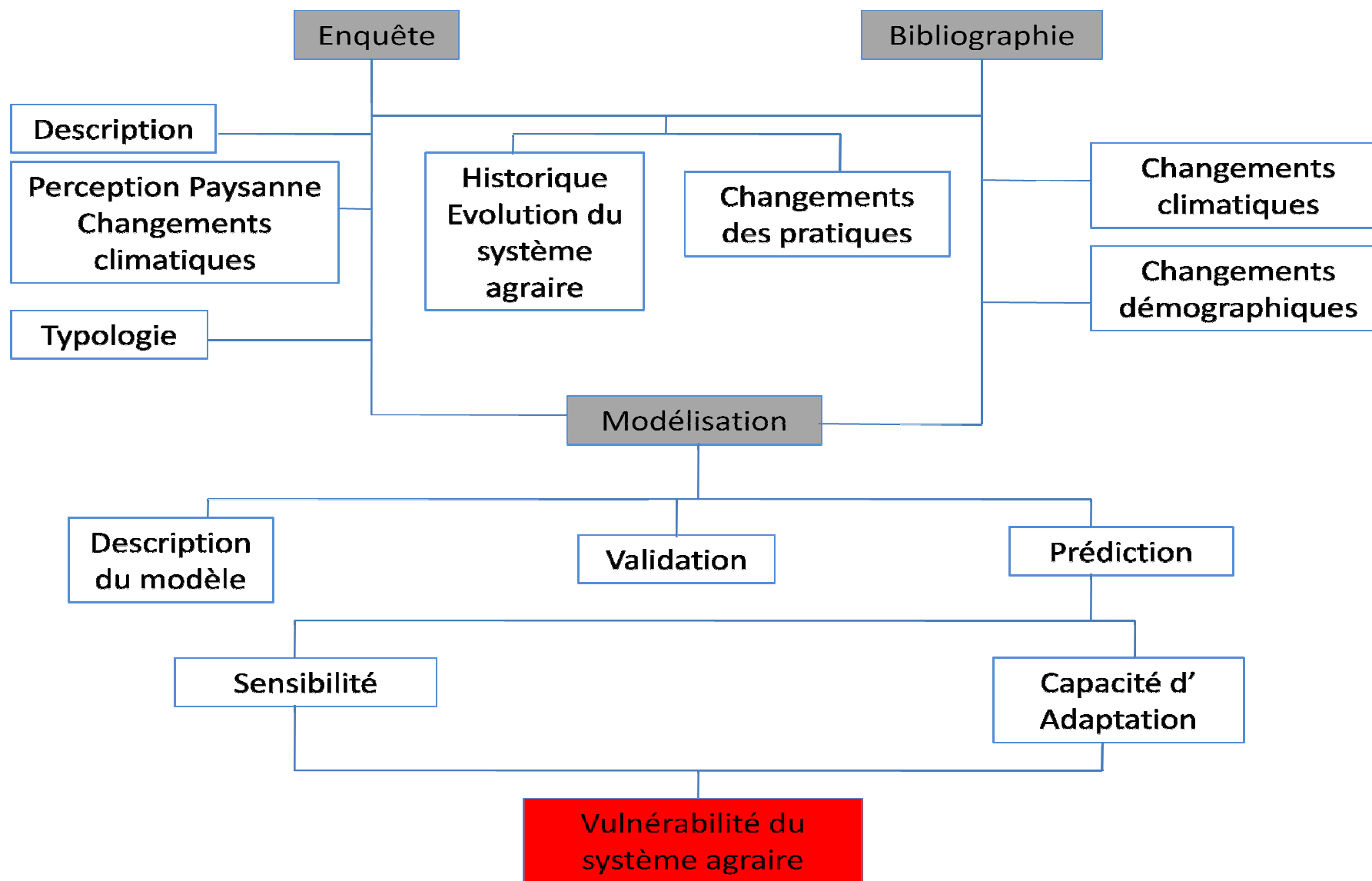
La modélisation permet d'évaluer la vulnérabilité. Les différents scénarii simulés avec le modèle décrit à la fois la sensibilité, la capacité d'adaptation ainsi que la vulnérabilité des exploitations agricoles à différents niveaux (exploitation, locale et régionale).

V- Analyse statistique

Des analyses statistiques ont été réalisées concernant les résultats obtenus. Le Test de Newman Keuls⁴ a été choisi pour cela. Son intérêt principal est qu'il permet d'éviter, par construction, les situations "paradoxaes" où la moyenne d'un groupe G1 pourrait être considérée comme significativement différente de celle d'un groupe G2, alors qu'elle serait considérée comme non significativement différente de celle d'un groupe G3, pourtant plus éloignée d'elle que celle de G2.

⁴ Le test de Newman-Keuls est un test de comparaison de moyennes par paires, pratiqué à l'issue d'une ANOVA.

Méthodologie Générale



Chapitre III - Caractérisation du système agricole dans la région du lac Alaotra

Résumé

Le système agraire dans la région du lac Alaotra est dominé par une agriculture conventionnelle basée sur la riziculture irriguée et pluviale, une filière qui occupe plus de 90% de la population de la région. La présente étude présente la dissymétrie entre l'Est et l'Ouest du Lac. La partie Est, moins développée du point de vue économique et technologique, possède des atouts en termes de possession de terroirs et de superficie cultivable. La partie Ouest est dotée d'une grande superficie de terroirs irrigués et dont la majorité des exploitants utilisent des moyens mécaniques (tracteurs et motoculteurs), notamment pour le travail du sol. Par ailleurs, trois types d'exploitation peuvent être observés dans la région à savoir les petites exploitations, dont la majorité des parcelles cultivables se trouvent sur les terroirs pluviaux. Ce type d'exploitation se base sur l'autosubsistance. Les exploitations moyennes avec un objectif d'autosubsistance et un minimum d'investissement, mais sont dotées de parcelles bien réparties entre terroirs irrigués et pluviaux. Et enfin, le troisième type concerne les exploitations de grande taille. La majorité de leurs parcelles sont situées sur des terroirs irrigués, leur objectif est orienté vers la vente.

Abstract

The farming system in Alaotra basin is dominated by conventional practices based on irrigated and rainfed rice production. It is a sector that employs more than 90% of the population of the region. This study presents the difference between East and West of the region. The eastern, less developed in terms of economic and technological development, has advantages in terms of possession of landscape and area suitable for cultivation. The West of the region has a large irrigated area and the majority of farmers use mechanical tools (tractors), especially for land preparation. In addition, three farm types can be observed in the region: (i) small farm, this type is based on self-sufficiency and the majority of its plots are situated on rainfed plot, (ii) medium-sized farm with self-sufficiency and less investment, this type uses mechanical tools and has well distribution of plot on irrigated and rainfed land, (iii) finally, the third type concerns the large farms. It uses mechanical tools and most of its plots are located on irrigated lands. The objectives of this type are oriented to commercialization.

Introduction

Madagascar est un pays agraire dont 78% de la population vivent dans le monde rural et dépendent fortement de l'agriculture (INSTAT, 2006). Le riz est la principale culture dominante de toute l'île. Depuis toujours, la riziculture tient une place prépondérante et primordiale à Madagascar. Le riz constitue l'aliment de base de la population Malagasy. Le lac Alaotra est le principal producteur de riz de l'île avec une production d'environ 7 à 8% de la production nationale et un tiers du riz commercialisé (Bedoin, 2006). Vers les années 1800, les plaines du Lac Alaotra commençaient à être cultivées. Vers 1906, la production était suffisante pour satisfaire les besoins nationaux. Depuis, des activités d'extension, d'intensification et de diversification de cette filière avaient été menées aussi bien pendant la période coloniale que pendant la première et la seconde république pour faire face aux besoins alimentaires de la population qui ne cesse d'augmenter (Viviane, 2007). Dans l'évolution du système agraire et de la pratique culturelle dans l'Alaotra, l'immigration a toujours joué un rôle important. Aussi bien dans la technique que dans la conquête de terres cultivables, les migrants ont beaucoup contribué au changement des pratiques (Penot, 2009). L'objectif de cette étude est de caractériser le système agraire dans la région du lac Alaotra. Pour cela, il consiste à décrire l'historique de l'évolution du système agraire de la région du lac Alaotra et des exploitations agricoles de la région ainsi que d'établir une typologie des exploitations agricoles de quatre localités représentatives autour du Lac.

II- Matériels et méthodes

La description du système agraire dans la région du Lac Alaotra a été réalisée à partir de l'inventaire de tous les types d'exploitation agricole présents dans quatre zones d'étude. Pour une meilleure représentativité, une sélection basée sur des critères socio-économiques est ensuite réalisée dans le cadre de l'échantillonnage des exploitations. L'identification des différents composants du système s'effectue à partir de la méthode par questionnaire et des entretiens semi-directifs avec les exploitants agricoles.

II.1 Sélection du lieu d'étude

La région du Lac Alaotra (17°10' à 18°S ; 48°10' à 48°40'E) a été choisie par sa place en termes de superficie cultivable en riz (environ 80000ha de plaine sont à vocation rizicole), et de la production de cette denrée commercialisée (Figure 3-1). Elle se trouve dans la partie Nord-Est de l'île (région Alaotra-Mangoro, province de Toamasina). La sous division Alaotra comprend trois districts (« fivondronana ») dont deux bordent la grande partie du lac (Ambatondrazaka à l'Est et Amparafaravola à l'Ouest) (Figure 3-2), le troisième est un peu décalé vers le Nord et n'accède que faiblement à la plaine du lac. Après un aperçu de la situation dans la région et une enquête au niveau des responsables administratifs, quatre

localités (communes) ont été sélectionnées pour une étude détaillée de la région. Deux se trouvent dans le District d'Ambatondrazaka dont Ambatosoratra (17°32'S; 48°31 E) et Amparihintsokatra (17°30'S; 48°37 E) qui sont toutes les deux desservies par une piste ; et deux se trouvent dans le District d'Amparafaravola, à savoir Tanambe (17°23'S ; 48°27'E) et Vohitsara (17°24'S, 48°29'E) et sont desservies par une route bitumée. Ces quatre localités sont représentatifs de la région car elles englobent le plus de variabilités de la région en termes biophysiques et socio-économique.

II.2- Description du site

II.2.1- Caractérisation biophysique du site

Un transect de direction Est-Ouest a été mis en place pour identifier les caractéristiques biophysiques du milieu. La distribution des terroirs ou étages écologiques suivant la topographie a été étudiée sur les différentes localités. Les caractéristiques biophysiques du milieu dont la topographie, les pentes, la source d'irrigation des différentes localités, et l'utilisation des terres ont été collectées par le biais des visites d'identification des limites des différents terroirs ainsi que les questionnaires lors des visites sur les parcelles. Aussi, des études relatives à l'accès à l'eau, la classification locale des terroirs, et leur délimitation ont été réalisées avec l'aide des exploitants agricoles.

II.2.2- Caractérisation Socio-économique

Les caractéristiques socio-économiques sont issues des enquêtes semi-directives auprès des exploitants agricoles. Des informations sur la composition familiale et les rôles que l'homme et la femme se partagent, le nombre et la distribution des activités de productions, les composants d'une exploitation, les outils ainsi que le mode de gestion et le fonctionnement des exploitations ont été collectées.

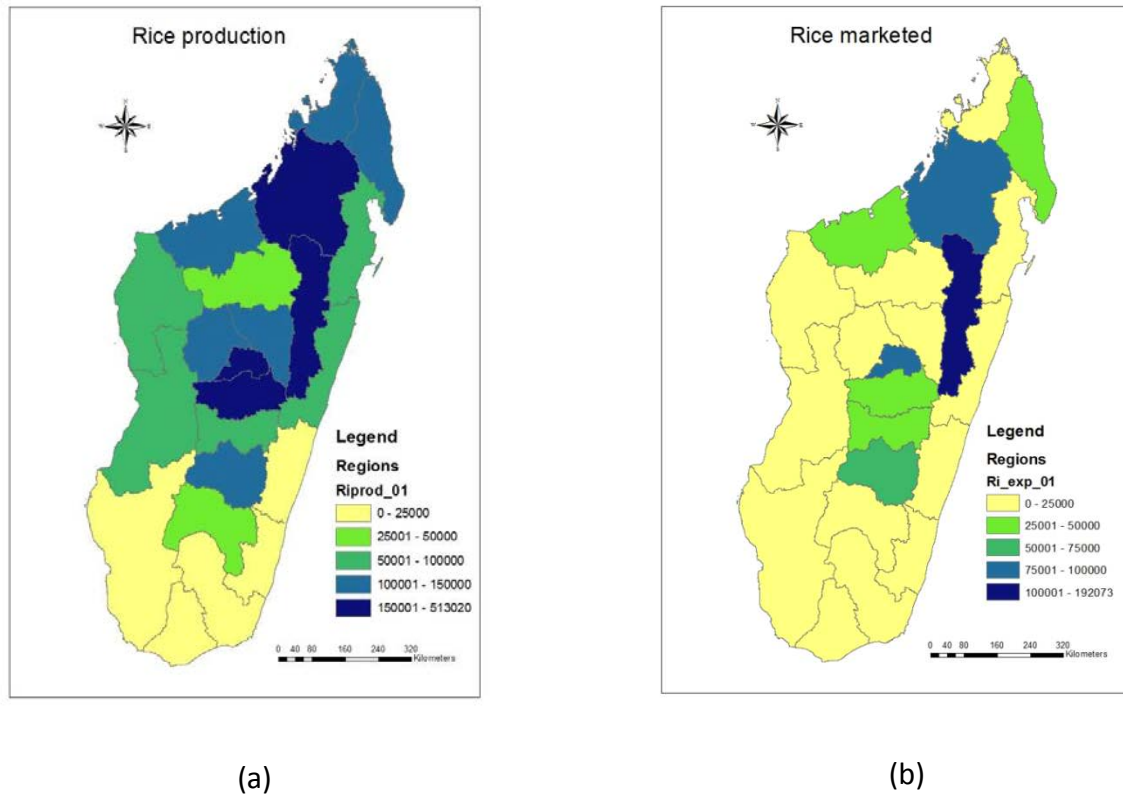


Figure 3-1 : Carte des vingt deux régions de Madagascar et leur rang dans la production de riz (a), et la part de riz commercialisée(b).

Du jaune au bleu la production de riz varie de moins de 25000 à plus de 500000 tonnes de paddy; et de moins de 25000 aux environs de 200000 tonnes de riz commercialisé.

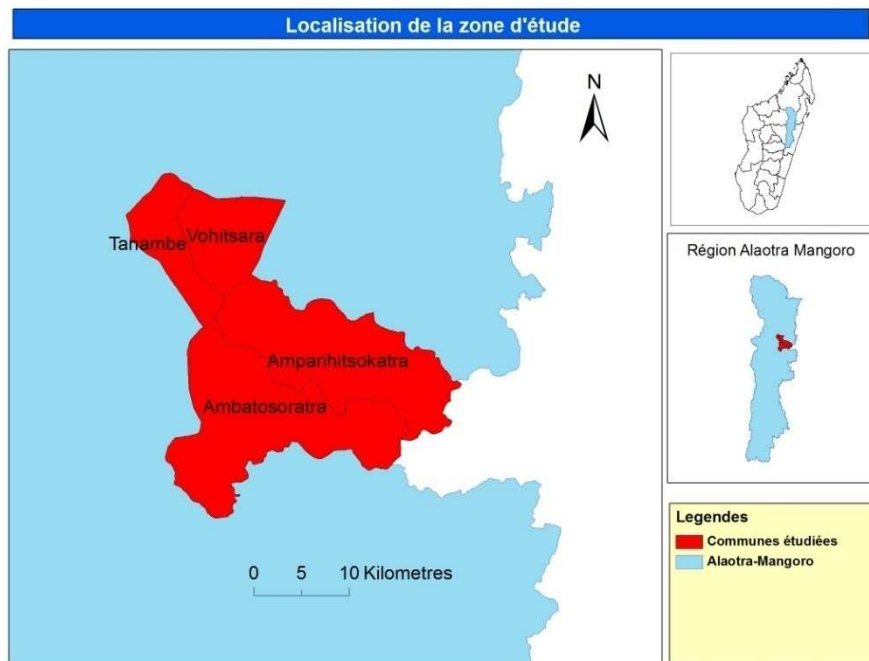


Figure 3-2 : Carte de Localisation des deux districts de la région du lac Alaotra

Source : Auteur

II.3- Description du système agraire

II.3.1- Evolution du système agraire

Une étude de l'historique de l'évolution du système agraire de la région a été réalisée à partir de la bibliographie et des enquêtes. La série évolutive du système agraire commence depuis l'origine du peuplement jusqu'à nos jours. Les différentes époques, le système dominant, les aléas majeurs, les techniques et/ ou outils, l'accès à la terre ou le mode d'acquisition des terres ainsi que la surface occupée par la riziculture (surface relative de la riziculture par rapport à la surface conquise ou utilisée par le système) ont été représentés sur un graphique.

II.3.2- Sélection des exploitations agricoles

L'échelle de l'exploitation agricole permet une observation minutieuse du fonctionnement du système agraire car le rôle que tient chaque composant du système y est présent. A l'issue d'un travail bibliographique sur les principaux déterminants permettant de constituer une exploitation agricole, une liste initiale d'exploitation basée sur la disponibilité des terres sur les différents terroirs ([Octavio et al., 2003](#)) et les outils agraires a été réalisée avec l'aide des responsables administratifs de chaque localité étudiée. Aussi, des échantillonnages d'exploitations ont été effectués pour une étude détaillée (au total 103 exploitations), environ 15 exploitations agricoles cibles dans chaque localité étudiées. Le nombre d'exploitations enquêtées à Amparihintsoatra, Tanambe, et Vohitsara sont respectivement de 15, 16 et 15). La localité d'Ambatosoratra fait exception car elle a été choisie par le projet auquel s'insère cette étude pour représenter toute la région en termes de topographie. Aussi, le total des exploitations de cette localité est de 57 réparties différemment sur 4 villages et suivant la taille de chaque village.

II.3.3- Typologie des exploitations agricoles

Des informations clés (selon l'appréhension des paysans) nous ont permis d'établir une liste initiale relative à la notion de petit et grand exploitant agricole (exemple : la taille des exploitations agricoles dépend de la superficie cultivée et /ou de la distribution des terres sur les différents terroirs, ou encore de l'outil agricole en possession). Une représentation graphique du mode de fonctionnement des exploitations agricoles a été réalisée en combinant les différentes informations issues des enquêtes avec les différents flux entre les différents composants du système.

III- Résultats et discussions

III.1- Description de l'évolution du système agraire dans la région du Lac Alaotra.

Le système agraire dans la région du Lac Alaotra a connu sept périodes depuis le début du peuplement jusqu'à nos jours. A l'origine, l'écosystème était dominé par la forêt composée principalement de *Cypérus madagascariensis* (Zozoro), de *Phragmites commus* (Bararata) et *Aeropyrum vahibora* (Ducrot, 2002). Au XV^e siècle commençait l'implantation humaine dans la région. Les premiers habitants étaient les Sihanaka, une ethnie qui, jusqu'à nos jours, constitue la majorité de la population de la région. Le système dominant était composé de l'élevage bovin, et l'accès aux terres pour le pâturage était libre (Figure 3-3). Au XVIII^e, plus précisément avant 1776⁵, commençait la combinaison de l'élevage et de la culture. A l'époque, cette dernière était dominée par la riziculture sur brûlis et occupait 10% du territoire. L'accès à la terre était encore libre. Entre 1776 et 1896, la période a été marquée par la conquête Merina, une ethnie issue de la capitale actuelle, et par l'ascension de la riziculture dans le système agraire de la région du lac. Bien que 65% du territoire aient été occupés par la riziculture inondée, le système dominant demeurait toujours l'élevage. Cette période a été marquée par le début de la pratique du piétinement des rizières par des bœufs et de l'entraide. La période de 1896 à 1959 marque un tournant dans l'histoire de l'agriculture de la région, le système dominant est passée de l'élevage bovin à la riziculture, avec une extension de la superficie cultivée en riz à 83% du total. La technique utilisée était le système traditionnel avec la pratique du labour. L'aléa majeur de l'époque était l'érosion. Entre 1960 et 1980, la surface cultivée en riz a relativement diminué (67% du total cultivée) au profit d'autres cultures, comme l'arachide. Après la colonisation, les exploitants agricoles commençaient à valoriser les *Tanety* en y mettant des cultures de rente. Le repiquage commençait à prendre la place du semis direct, et l'utilisation de la charrue commençait à être vulgarisée (Razafimbelo, 1984). Les cultures étaient sujettes à la sécheresse. Le mode d'acquisition des terres s'était fait grâce au développement du salariat agricole (après la colonisation, ceux qui avaient les moyens financiers pour payer des métayers pouvaient avoir le plus de terres et étaient considérés comme grands exploitants agricoles). Et enfin, de 1980 à nos jours, le système dominant est la riziculture irriguée et pluviale avec labour. Seulement, le travail manuel et l'utilisation des charrues à bœufs commencent à être substitués par l'utilisation des motoculteurs (Kubota) et des tracteurs. Par contre l'agriculture commence à subir les conséquences de la variation climatique avec la fréquence accrue de la diminution de la période des pluies et l'existence des poches de sécheresse. Le mode d'acquisition des terres actuellement se fait par le biais de l'achat ou de location.

⁵ En 1776 a vu l'accès au trône du Roi de l'imerina du nom d'Andrianampoinimerina, celui qui a initié l'unification de toute l'île et introduit la riziculture sur tout le royaume.

III.2- Description générale des exploitations agricoles sur les différentes localités étudiées.

L'ethnie dominante de la région est le Sihanaka. Ils sont présents tout au long des rives du Lac Alaotra et étaient autrefois considérés comme éleveurs et pêcheurs. Actuellement, le bassin de l'Alaotra est la première en termes de production de riz de tout le pays avec 15% de la production de toute l'île (UPDR, 2003). Les différentes parcelles des exploitations sélectionnées dans cette étude sont inégalement réparties sur les différents étages écologiques ou terroirs existants de la région. L'accès à ces différents terroirs et à l'irrigation constituent les principales sources de variabilité biophysique de la région notamment dans la localité d'Ambatosoratra, dû à la topographie et à la pluviosité. La partie Est du Lac présente un relief plus ou moins accidenté avec des vallons et une pente allant jusqu'à 25° (Tableau 3-1). La maîtrise de l'eau y est presque inexistante dû à l'absence de barrage. La partie Ouest du lac est en grande partie occupée par de vastes plaines à faible pente (inférieure à 5%) et avec une possibilité d'accès à l'eau grâce à l'existence d'un barrage de retenue (le barrage d'Ankazotoho).

Les grandes exploitations sont généralement celles qui ont accès aux terroirs où l'accès à l'eau est plus facile. La majorité d'entre elles tendent également à utiliser des moyens mécaniques dans la préparation du sol, et utilisent de la main d'œuvres temporaires et/ou permanentes pour la plupart des activités agricoles telles que le semis, le repiquage, le désherbage, et la récolte. Par contre, les petits exploitants agricoles de la région dépendent des moyens financiers, c'est-à-dire qu'ils sont obligés de travailler dans les autres exploitations pour pouvoir commencer une saison de culture. Aussi vivent-ils au dépens de grandes exploitations, et commencent tardivement la saison, voire parfois contraints de faire louer certaines parcelles, faute de moyens. En terme d'utilisation des outils mécaniques (motoculteur et tracteurs) elle est nettement supérieure dans la partie Ouest par rapport à la partie Est du Lac (80% à Tanambe et 65% à Vohitsara contre 30% à Ambatosoratra et 10% à Amparihintsoakatra). Cela est dû à la topographie (dans la préparation du sol, les motoculteurs ont des difficultés à monter sur les pentes) et à l'abondance de bétail. La fertilisation est étroitement liée à ce dernier car dans la partie Ouest du lac (Tanambe et Vohitsara), les grandes exploitations utilisent des fertilisants minéraux, à cause de l'insuffisance de fumier de bovin, tandis que dans la partie Est, l'utilisation de la fertilisation organique est élevée (98%) à cause de l'abondance relative⁶ du nombre de bovins et ainsi du fumier. Cet écart entre l'Est et l'Ouest se reflète également dans le type de maison et de toiture. Environ la moitié des ménages (54,78% pour Ambatosoratra, et 48,59% pour Amparihintsoakatra) contre plus de 70% dans la partie Ouest (93,96% pour Tanambe et 71,81% pour Vohitsara) sont en dur, le reste étant en bois avec une toiture en chaume. Dans

⁶ Relative car même si le nombre de bovin dans la partie est du lac est largement supérieure à celui de l'Ouest, il est en baisse à cause de l'insécurité et notamment le vol de bœufs devenu fréquent dans la région.

la partie Est, la population active se situe entre 15 et 49 ans contre 20 à 55 ans dans la partie Ouest. Sont considérées comme enfant et âgée les populations situées en dessous et en dessus de ces fourchettes. Dans chaque ménage, l'homme et la femme s'entraident, il y a partage des tâches dans les activités agricoles. L'homme s'occupe des tâches nécessitant plus de force, tels que la préparation du sol, le transport des marchandises, la collecte, et également de l'élevage de zébus, tandis que les femmes s'occupent généralement des tâches nécessitant plus d'attention sur la surveillance telles que le semis, le repiquage, le désherbage ainsi que l'élevage de volailles. La principale culture vivrière est le riz (*Oriza sativa*) à laquelle s'ajoutent le maïs (*Zeamays*), le manioc (*Manihotesculenta*), et la patate douce (*Ipomoea batatas*) en période de soudure. Le riz est non seulement une culture vivrière mais constitue également la principale source de revenus de la quasi-totalité des exploitations, notamment dans la partie Ouest du Lac. Pour les cultures de rente, au riz s'ajoutent également le haricot (*Phaseolus vulgaris*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), la canne à sucre (*Saccharum officinarum*), les tomates (*Solanum lycopersicum* L.), oignon (*Allium cepa*.) et quelques légumes (tel que les angivy et certaines brèdes).

Tableau 3-1: Principaux caractéristiques biophysique, socio-economique, gestion de l'exploitation et activités de production de la région d'étude.

Variable	Unité	Localité			
		Ambatosoratra	Amparihintsokatra	Tanambe	Vohitsara
Topographie		Moyennement ondulée (1<Pente<25%)	Très ondulée (Pente> 15%)	Faiblement ondulée (2<Pente<5)	Faiblement ondulée (0<Pente<5)
Source d'irrigation		Barrage en bois (Riv. Andrangorona)	Aucune source	Barrage de retenue en béton (Ankazotohol)	Barrage de retenue en béton (Ankazotohol)
Taille de l'exploitation	ha	4.09	6.08	4.94	6.79
Type d'habitation					
Brique, toit en Tôle		24.72	30.44	78.03	45.01
Brique, toit en chaume		30.06	18.15	15.93	26.8
Maison en Bois	%	45.22	51.41	6.04	28.19
Densité de Population	Hab.km ⁻²			103.41	38.67
Taille de Ménage	personne	5,00	5,27	7,25	5,60
Activités de production					
Cultures vivrières		Riz, maïs, manioc	Riz, maïs	Riz	Riz

Cultures de rente	Riz, Haricot, angivy , Arachide, fruit, légumes, Canne à sucre	Riz, haricot, arachide, tabac, Canne à sucre	Riz	Riz
Elevage et pâturage	Zébu locale Porcs; libre Pâturage sur les <i>Tanety</i> et après les récoltes	Zébu locale Porcs; libre Pâturage sur les <i>Tanety</i> et après les récoltes	Zébu locale; zéro pâturage mise dans les parcs à bœufs,	Zébu locale ; libre pâturage sur les rizières après les récoltes.
Volailles	Poulet, canard, oies	Poulet	Poulet, oies	Poulet, oies
Fertilisation				
Fertilisation Minérale	Faible	Faible	Intensive	modérée
Fertilisation Organique	Modérée	Modérée	Faible	Faible
Mécanisation ²				
Tracteur/ Kubota	30	10	80	65
Charrue	% 70	90	20	35

1 Donnée issue de « Plan communal de Développement » 2003.

2 Moyenne de parcelle où la mécanisation est utilisée

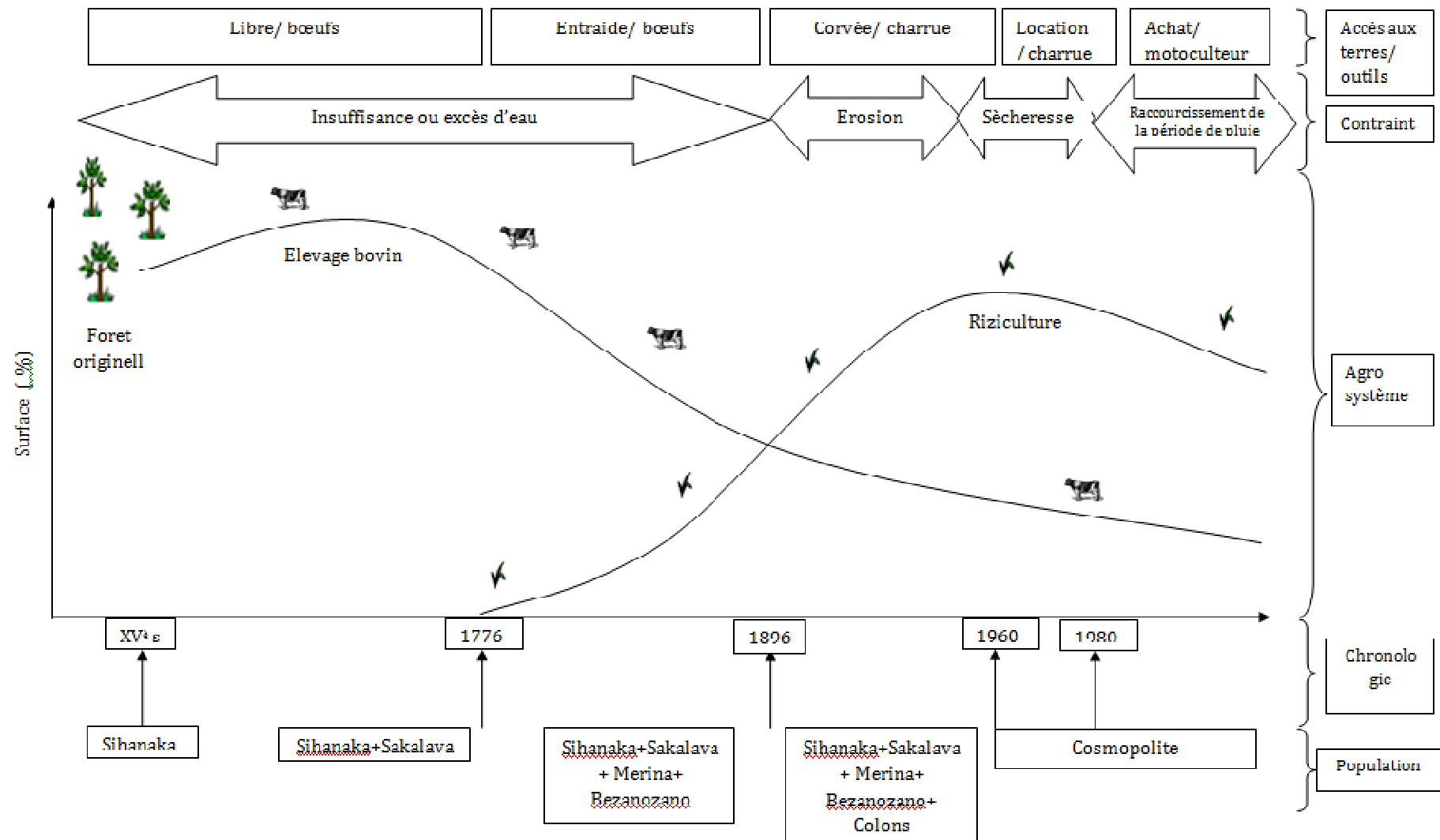


Figure 3-3 : Description de l'évolution du système agraire dans la région du lac Alaotra.

III.2.1 -Description physique des localités étudiées

Six types de terroirs ou étages écologiques existent dans la région du Lac Alaotra dont les rizières au bord du lac (RBL) qui sont généralement appelées rizières à irrigation aléatoire, les rizières Basses (RB) ou rizières de bonne maîtrise d'eau, les rizières de bas fonds (RBF) situées sur les vallons, les rizières Hautes (RH) ou rizières à mauvaise maîtrise d'eau ; les *Baiboho* (Bb) qui sont généralement des bourrelets de berge et les *Tanety* (Tan) qui sont situés sur les collines. Les trois premiers constituent les terroirs irrigués et les trois derniers les terroirs pluviaux (Figure 3-4).

Leur distribution varie selon la localité étudiée. Dans cette étude, les quatre localités sélectionnées sont représentatives de cette distribution (Tableau 3-2). Ambatosoratra représente les localités où la distribution des terroirs est mieux répartie (chaque terroir est mieux représenté et de taille plus ou moins égale). Amparihintsokatra représente les localités dominées essentiellement par les *Tanety* (plus de 55%) mais qui ont toutefois des rizières de bas fonds pour la riziculture. La localité de Tanambe représente celles dont l'accès à l'eau est plus facile avec une importante superficie de rizières irriguées (plus de 70%). Et la localité de Vohitsara représente à la fois celles qui ont le plus de rizières situées au bord du lac, des rizières basses et la plus faible superficie de *Tanety*.

III.2.2- Utilisation des terres dans les quatre régions

Suivant la distribution des terroirs dans les quatre régions, les cultures sont également différentes. Toutefois, ce qui les rassemble est l'importance de la culture du riz, étant donné que le Lac Alaotra est la première zone de production de cette denrée dans toute l'île. Dans la localité d'Ambatosoratra, hormis la place du riz qui prend 73.76% de la surface, on note également une place importante de la superficie non cultivée qui occupe 10.62% et de l'Arachide avec 9.44% (Figure 3-5). Les autres cultures étant en infime partie de la localité avec une somme de 6.17% de la surface. Cette localité regroupe le plus de diversité de cultures dans les quatre régions où l'étude a été réalisée. Pour la localité d'Amparihintsokatra, on observe quatre cultures dominant dont le riz avec 35% de la surface, l'arachide avec 23%, le maïs avec 8% et le haricot avec 7%. Le reste de la surface est en jachère. A Tanambe, le riz domine à 87% de la surface, la jachère en occupe 7%, l'arachide 1% et quatre autres cultures occupent moins de 4 % de la surface totale. Vohitsara est la localité où on trouve le moins de diversités de cultures avec seulement deux cultures dont le riz, qui occupe 91% de la surface, et le haricot avec 3%, le reste est en jachère.

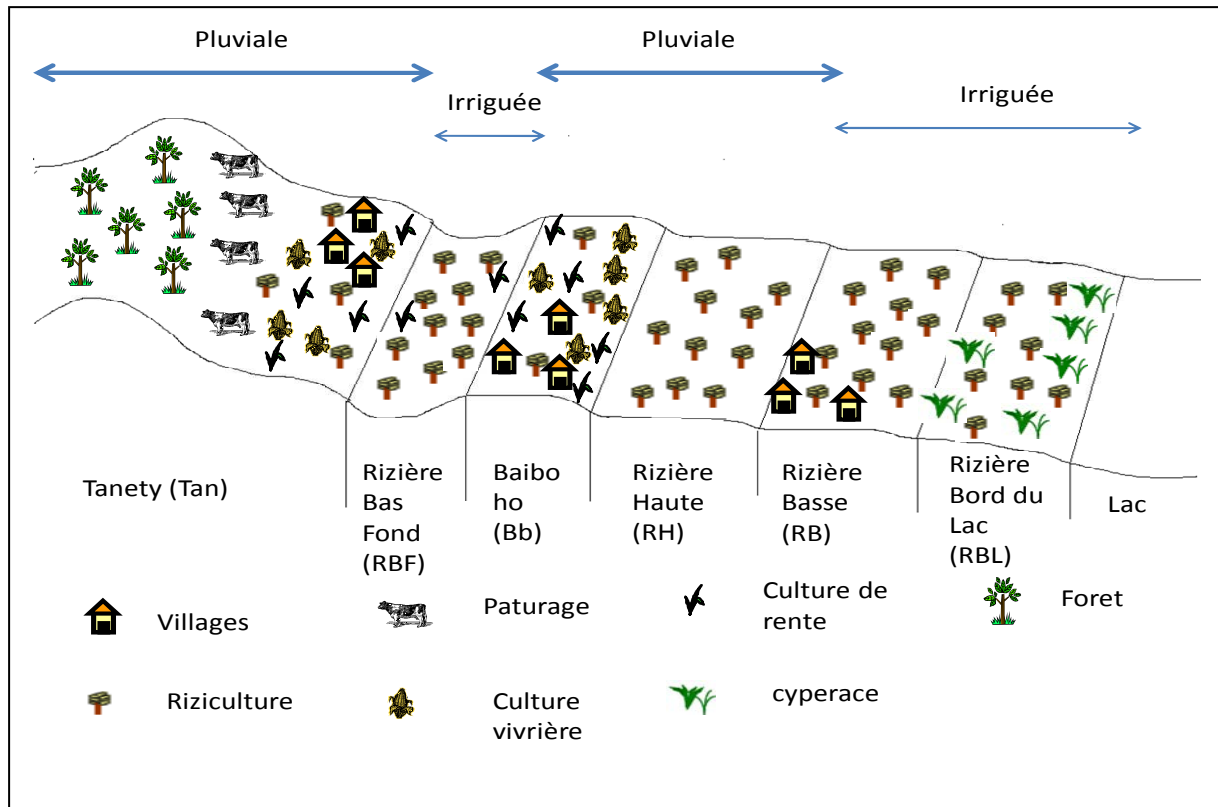


Figure 3-4 : Transect et description des terroirs

Tableau 3-2 : Distribution et superficie des terroirs selon les sous région

Terroir	Unité	Ambatosoratra	Amparihintsokatra	Tanambe	Vohitsara
<i>Tanety</i>	%	19,67	61,80	22,23	1,58
Rizière Haute	%	24,29	7,72	2,19	5,73
<i>Baiboho</i>	%	10,56	0,82	2,08	0,00
Rizière basse	%	27,32	2,74	72,40	51,92
Rizière Bas fond	%	6,12	26,92	0,00	0,00
Rizière Bord du lac	%	12,04	0,00	1,10	40,77
Superficie Totale	ha	5966	2131	3131	6399

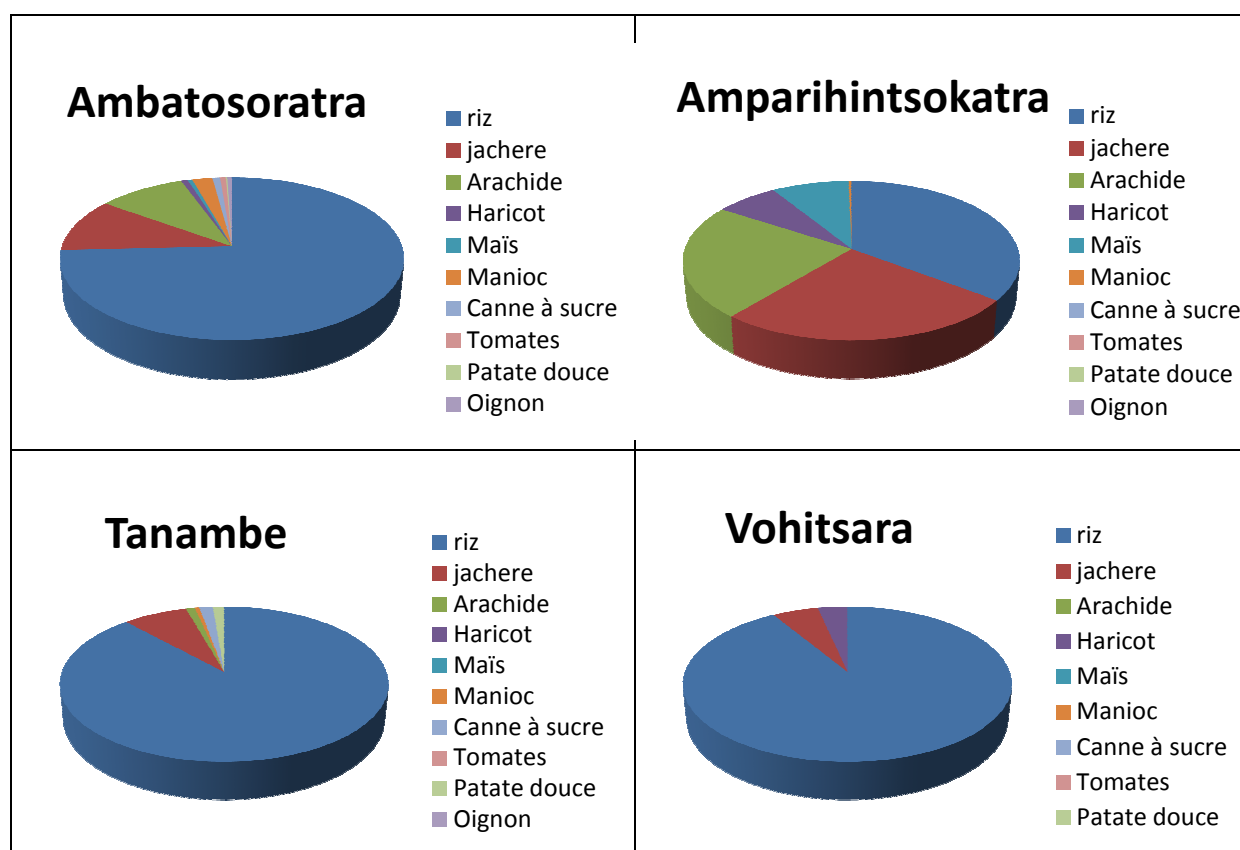


Figure 3-5 : Occupation des sols dans les quatre localités étudiées

III.2.3- Caractéristique de production rizicole au niveau des localités

Les rendements moyens en riz des localités d'Ambatosoratra, Amparihintsoatra, Tanambe et Vohitsara sont respectivement de 2.50 ; 3.28 ; 3.55 et 3.21 T.ha⁻¹ (Tableau 3-3). Les deux premières localités forment deux groupes statistiquement différents, tandis que les deux dernières localités sont regroupées dans une catégorie qui est en relation avec les deux premiers groupes. La production rizicole d'une localité est étroitement liée à la productivité de chaque terroir. En effet, les terroirs de riz pluvial ont une productivité faible (2.31 T.ha⁻¹) par rapport au riz irrigué (3.11 T.ha⁻¹). Celle de la localité d'Ambatosoratra est faible par rapport à l'ensemble des quatre localités, tant pour les cultures pluviales que pour les cultures irriguées. Ceci est dû à la fois par le fait que les parcelles de culture se trouvent en majorité sur des terroirs pluviaux et que la productivité est liée à la difficulté de maîtrise de l'eau due à l'absence de barrage de retenue. La localité d'Amparihintsoatra possède la moyenne statistique⁷ la plus élevée de plus de 3 T.ha⁻¹ contre inférieure à 2.7 T.ha⁻¹ pour les autres localités. Ceci est dû à la productivité élevée des rizières de Bas fonds qui bénéficient des apports en éléments nutritifs issus des bassins versants. Celle de la localité de Tanambe présente une moyenne élevée sur les terroirs irrigués car la majorité de parcelles sont des rizières basses (de bonne maîtrise de l'eau) et elle bénéficie également de l'accès à l'eau grâce à la présence de barrages de retenue. Ce qui entraîne la majorité des exploitants

⁷ Moyenne issue de l'analyse statistique (ANOVA) selon le test de Newmann-keuls et de Fisher.

agricoles à investir le plus sur ce type de terroir au détriment du riz pluvial. Bien que la localité de Vohitsara bénéficie également de l'accès à l'eau comme la précédente localité, la majorité de leurs parcelles sont situées au bord du lac, ce qui entraîne une difficulté de maîtrise de l'eau, notamment avec la montée des eaux.

Tableau 3-3: Moyenne de productivité rizicole des quatre localités étudiées et leur distribution selon le type de terroir (irrigué ou pluvial)

Localité	Ensemble		Irriguée		Pluviale	
	n	Production rizicole (T.ha ⁻¹)	n	Production rizicole (T.ha ⁻¹)	n	Production rizicole (T.ha ⁻¹)
Ambatosoratra	240	2.50±1.14(B)	121	2.71±1.23	119	2.29±1.01
Amparihintsokatra	50	3.28±1.42(A)	41	3.46±1.36	9	2.45±1.44
Tanambe	53	3.55±0.89(AB)	50	3.65±0.80	3	1.84±0.65
Vohitsara	59	3.21±1.11(AB)	55	3.22±1.14	4	3.08±0.57
Moyenne		2.84±1.22		3.11±1.22		2.31±1.03

III.3- Typologie des exploitations agricoles

Trois types d'exploitation ont été identifiés suivant le type d'outils utilisés, la taille de l'exploitation et la distribution des parcelles sur les différents terroirs (Tableau 3-4). Les exploitations se trouvant dans le type 1 sont généralement de petite taille, utilisant des outils manuels ou attelés pour la préparation du sol. Elles ont pour objectif l'autosubsistance dû à la faible disponibilité de surfaces cultivées et de la productivité des terroirs ou de la distribution de leurs parcelles sur les différents terroirs. La plupart des parcelles sont situées sur les hauteurs et n'ont pas d'accès à l'eau. Les cultures mises en place sont en majorité des cultures pluviales. Ce type est souvent confronté au manque de moyens technologiques et financiers, et sont contraints de vendre la force physique en travaillant en dehors de leurs propres exploitations pour subvenir aux dépenses. A défaut de ne pas pouvoir cultiver toutes les parcelles, les exploitants agricoles les font louer aux autres types (Figure 3-6). Les exploitations de type 2 peuvent être considérées comme moyennes avec une distribution plus ou moins similaire des parcelles irrigables et non irriguées. La superficie cultivée est généralement supérieure par rapport à celle du type 1. Elles disposent d'au moins une charrue par exploitation pour le travail du sol et peuvent avoir une charrette pour le transport. La particularité de ce type est qu'il utilise un minimum d'investissements pour la production. Il dispose des quelques moyens (terres et outils et financiers) pour une meilleure production, mais n'ose pas prendre de risques. Ce type d'exploitation dispose le plus de têtes de bovins et conserve le principe que les bœufs sont à la fois moyens de production et signes de richesse. A tout moment, il peut basculer d'un type à un autre selon la gestion de leur exploitation et la pluviosité (la pluie occupe une grande place dans la production car elle

influe sur le rendement). Les objectifs de production pour le type 2 est l'autosubsistance et, dans le cas où il y a un excédent, l'investissement se fait sur l'élevage bovin. La majorité des enfants vont à l'école mais pendant les vacances, ils participent aux travaux agricoles. Le type 3 regroupe les grandes exploitations dont la superficie cultivée est généralement la plus importante. Les parcelles sont en grande partie situées sur les terroirs avec possibilité d'accès à l'eau. La majorité dispose d'outils motorisés (motoculteurs et même de tracteurs). Ils ont les moyens pour un objectif d'autoconsommation et de commerce. Le type 3 investit beaucoup pour avoir le maximum de production. Leur investissement s'était fait soit dans la location des terres, soit dans l'outil agricole. D'une part, pour pouvoir acquérir le plus de terres, les exploitations de type 3 préféraient louer les parcelles appartenant au type 1 sur la base d'un contrat (une ou plusieurs années). Au fil des années, le type 1 est contraint de vendre certains de leurs parcelles pour l'autosubsistance. D'autre part, le type 3 disposait autrefois d'un nombre important de bœufs. A cause de l'insécurité (vol de bœufs) et du retard dans les travaux agricoles, ils ont décidé de les vendre et d'investir dans la mécanisation. Actuellement, tout en maintenant ce principe de maximum de production, ils entrent dans l'utilisation des fertilisants minérales et des pesticides, notamment pour les exploitations situées sur la rive Ouest du lac. Disposant d'un moyen financier important, ce type d'exploitation a moins de difficultés à utiliser des mains d'œuvre, et leurs parcelles sont notamment celles qui sont les premières à être travaillées. Aussi, possède-t-il du taux le plus important d'enfants scolarisés.

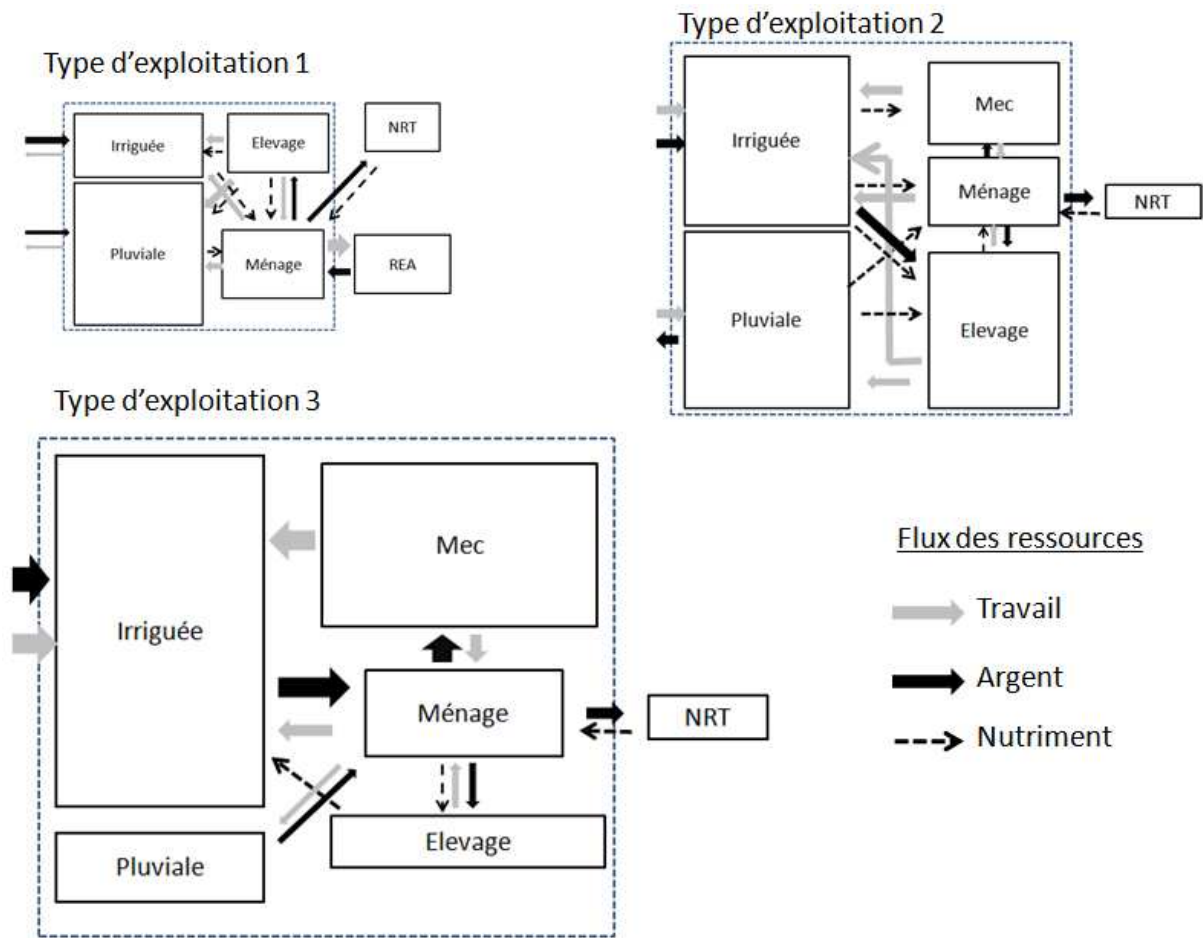


Figure 3-6 : Allocations des ressources et les flux entre les différents composants du système des trois types d'exploitations.

La taille de chaque composant et du contour de l'exploitation reflète la taille et/ou son importance dans la réalité (par exemple, la délimitation des terroirs irrigués représente leur taille). La largeur des flèches reflète l'importance des flux qu'ils représentent. Ménage désigne la taille de la famille ; Irriguée désigne les terroirs irrigués et pluviales, les terroirs pluviales ; Mec désigne l'outillage mécanique regroupant les motoculteurs et tracteurs ; NRT : Nourriture ; REA : Ressources agricoles extra exploitation.

Tableau 3-4: Caractéristiques des types d'exploitation identifiée selon cinq critères considérés pour leurs catégorisations.

Type d'exploitation	Taille	Distribution des terroirs	Type des outils utilisés	Principaux contraintes	Objectifs de production
1	Petite	Parcelles située en majorité sur les hauteurs avec difficulté d'accès à l'eau (culture pluviale)	Manuelle et/ou attelé (charrue)	Moyen d'exploitation (outils, financier, semence, intrants), irrigation	Autosubsistance
2	Moyen	Distribution des parcelles irriguée et pluviales	Attelé (charrue)	Financier et main d'œuvre	Autosubsistance avec un minimum de d'investissement
3	Grande	Majorité des parcelles ont un accès à l'eau (culture irriguées)	Mécanisé (Motoculteur et/ou Tracteur) Et ou mixte (mécanisé et attelé)	Main d'œuvre	Autoconsommation et vente des excédents

Tableau 3-5: Moyenne des valeurs des indicateurs socio-économiques suivant la typologie des localités étudiées.

Localité	Type d'exploitation	n	Taille de la famille	Actif	Enfants scolarisés	Main d'œuvre permanent	Nombre de bœufs en possession
Ambatosoratra	1	25	5.04	2.73	1.52	1.00	10.19
	2	22	4.76	2.48	1.93	1.64	11.27
	3	9	5.44	2.56	2.25	1.67	9.11
Amparihintsokatra	1	10	5.30	3.50	2.00	1.67	8.50
	2	3	5.67	2.00	3.00	1.67	8.33
	3	2	4.50	2.50	1.50	1.00	6.50
Tanambe	1	1	8.00	1.00	7.00	0.00	0.00
	2	1	5.00	2.00	3.00	0.00	8.00
	3	14	7.00	3.50	2.79	1.78	5.86
Vohitsara	1	2	7.50	3.50	3.00	2.00	1.50
	2	1	5.00	3.00	2.00	0.00	0.00
	3	12	5.75	3.42	2.60	1.40	4.33

III.3.1- Indicateurs socio-économiques au niveau des localités et des types d'exploitations

La plupart des exploitations de la partie Est du lac se trouvent dans les type 1 et 2 (respectivement supérieure à 45% et 20%) notamment pour la localité d'Ambatosoratra où le premier regroupe 44.64% et le second 39.29% du total (Tableau 3-5). Pour la localité d'Amparihintsokatra, la grande majorité d'entre elles se trouvent dans la catégorie 1. Par contre, pour les deux localités situées à l'Ouest, la majorité des exploitations issues des enquêtes sont concentrées dans le type 3 (supérieure à 80%). Par ailleurs, la taille de la famille varie d'un type à un autre et d'une région à une autre. Si elle avoisine les 5 pour les localités situées sur la rive Est du lac, elle tourne autour de 7 pour celles du côté Ouest. Cela est étroitement lié aux moyens à leur disposition notamment en termes de production rizicole. Contrairement à d'autres régions du pays qui considèrent les enfants comme ressources en termes de main d'œuvre, la population de la région tient compte des autres moyens pour subvenir aux besoins de la famille. Aussi, le nombre d'enfants scolarisés à l'Ouest est supérieur à celui de l'Est. En ce qui concerne l'utilisation de main d'œuvre, les exploitations de l'Est utilisent plus de main d'œuvre permanente (environ 1.5) par rapport à celles de l'Ouest. Ceux de l'Est aident dans les activités agricoles, tandis que celles de l'Ouest aident beaucoup plus dans les travaux ménagers. Par ailleurs, le nombre de bovins à disposition pour les localités de l'Est est supérieur à celui de l'Ouest dû à sa substitution par les motoculteurs dans les travaux agricoles. Les types 1 et 2 des localités de l'Est utilisent un grand nombre de bovins (autour de 9 bœufs par exploitation), ce qui est dû non seulement au rôle des bœufs (signes de richesse) dans la société, mais également à leur importance dans les travaux agricoles, notamment dans la préparation du sol et le transport des produits. Par contre dans la partie Ouest, les bœufs servent surtout à procurer du fumier pour la fertilisation.

III.3.2- Gestion des terroirs de différents types d'exploitation

En général, plus de 75% des parcelles du type d'exploitation 1 se trouvent sur des parcelles sans accès à l'eau ou des terroirs pluviaux. Pour le type 2, elles varient de 42 à 52% selon la localité et sont inférieures à 20 % pour le type d'exploitation 3 (Tableau 3-6). Cette distribution affecte le mode de gestion de chaque terroir. En effet, elle détermine l'occupation des sols de chaque localité. Moins de la moitié des parcelles cultivables sont rizicultivées pour le type 1. La culture du riz représente en moyenne les trois quart (3/4) des superficies pour le type 2, et environ 90% pour le type 3. Egalement, le type 1 possède la plus grande superficie non cultivée avec 24% (en jachère), 4% en cultures vivrières et 11% en cultures de rente. Pour le type 2 elles sont respectivement de 8 ; 3 et 16% de la superficie cultivable. Notons que ce type d'exploitation investit le plus sur les cultures de rentes. Le type 3 possède la plus faible superficie en jachère avec 2% contre 7% pour la culture de rente et 1% pour les cultures vivrières. La disponibilité des terroirs irrigués doublée de

l'utilisation de la mécanisation favorise à la fois l'exploitation maximale des superficies cultivables et l'investissement dans la riziculture pour ce dernier type d'exploitation. Dans la gestion des terroirs, certains d'entre eux sont cultivés deux fois par an. Par exemple, les *Baiboho*, les rizières au bord du lac et des fois les rizières de bas fonds sont cultivées deux fois par an (culture de saison et contre saison).

Tableau 3-6: Moyenne des superficies en possession ou cultivées et leur distribution suivant l'accessibilité à l'eau et le système de culture pour les différents types d'exploitation dans les quatre localités étudiées.

Localité (L)	Type d'exploitation (TE)	Surface cultivée et/ou en possession (ha)	Parcelle avec accès à l'eau (%)	Parcelle sans accès à l'eau (%)	Surface en riz (ha)	Surface en jachère (ha)	Culture vivrière (ha)	Culture de rente (ha)
Ambato-soratra	1	3.34	21.11	78.89	1.95	0.74	0.14	0.51
	2	4.72	52.48	47.52	3.79	0.21	0.08	0.63
	3	5.64	81.50	18.50	4.88	0.24	0.17	0.35
Amparihin-tsokatra	1	6.52	21.64	78.36	1.60	2.29	0.59	1.85
	2	7.47	50.37	49.63	4.10	0.00	0.67	2.70
	3	1.85	78.36	21.64	1.55	0.00	0.00	0.30
Tanambe	1	11.40	22.75	77.25	2.90	2.00	0.50	0.00
	2	5.20	48.08	51.92	3.00	1.50	0.00	0.70
	3	4.87	94.08	5.92	4.63	0.02	0.03	0.12
Vohitsara	1	6.50	23.08	76.92	5.00	1.50	0.00	0.00
	2	4.80	58.33	41.67	4.80	0.00	0.00	0.00
	3	7.19	99.03	0.97	6.60	0.31	0.00	0.27
Ecart-type	(L)	1.14	28.09	28.09	1.84	0.57	0.23	0.77
	(TE)	0.53	35.35	35.35	1.62	0.59	0.11	0.34

III.3.3-La production et la gestion du riz des différentes exploitations.

La production de riz des différents types d'exploitations varie selon la disponibilité des terres et leur distribution. Pour les exploitations du type 1, si la quantité totale de riz produite d'une saison avoisine les 5 tonnes par exploitation dans les localités situées à l'Est du lac, elle passe à plus de 7 T à Tanambe et à moins de 13 T à Vohitsara ([Tableau 3-7](#)) Hormis le cas d'Amparihintsoatra où le type 2 produit plus de 13 T sur des parcelles irriguées, la variation rizicole des trois localités restantes augmente au fur et à mesure qu'on passe du type 1 vers le type 3. Hormis le cas du type 1 des localités d'Ambatosoratra et de Vohitsara, la part de la production de riz pluviale sur le reste est largement inférieure au riz irriguée (la part du riz

pluviale est au maximum de 35% du total). En termes de distribution, tous les types d'exploitations issus de l'enquête ont en moyenne un excédent en production rizicole. Ce qui explique la part du riz commercialisé par exploitation (supérieure à 80%) et la place qu'occupe la région en termes de riz commercialisé dans le pays. Toutefois, la fréquence du riz dépensé par le type 1 est généralement supérieure à celles autres types.

Tableau 3-7: Quantité de riz produite suivant l'accès à l'eau et sa distribution selon la gestion de chaque type d'exploitation des différentes localités étudiées.

Localité	Type d'exploitation	n	Production de riz (T)		Distribution de riz (%)	
			Irrigué	Pluviale	Dépensé*	commercialisé
Ambatosoratra ^a	1	25	1.78	2.91	18	82
	2	22	6.05	3.30	10	90
	3	9	9.97	1.17	10	90
Amparihintsokatra	1	10	4.29	1.01	16	84
	2	3	13.27	5.25	8	92
	3	2	4.02	0.08	17	83
Tanambe	1	1	7.20	0.00	16	84
	2	1	9.00	1.20	9	91
	3	14	17.11	0.08	8	92
Vohitsara	1	2	6.25	6.74	10	90
	2	1	10.20	4.50	8	92
	3	12	16.98	0.15	7	93

*la quantité de riz dépensé est la somme du riz consommé par ménage avec la base de 120kg/personne/an, et de la quantité de semences utilisée par exploitation.

^a Les parcelles d'une exploitation du type 1, lors de l'enquête, étaient cultivées en d'autres cultures mais faisaient du riz lors d'une rotation culturale.

III.3.4- Mode d'acquisition des terres et gestion des parcelles

Dans l'historique du mode d'acquisition des terres, si l'évolution a été conditionnée par la possession de bovins depuis la période monarchique, elle dépend actuellement notamment de moyens financiers. La fréquence d'adoption du mode de gestion des parcelles des différents types d'exploitations varie d'une région à une autre et est étroitement liée à leur position ou à la distribution des parcelles selon les terroirs. En effet, outre la taille de l'exploitation, l'accessibilité à l'eau des parcelles influe sur le mode de gestion de système de culture (Tableau 3-8). Compte tenu du prix des parcelles selon ces critères, les exploitations de type 1 sont généralement celles qui n'ont pas les moyens de louer de terres, notamment celles avec un accès à l'eau, ce qui explique son faible taux de location de parcelles irriguées. Quelques uns ne possèdent même pas de parcelles mais sont à 100% locataires. Cela confirme le résultat de (Penot, 2009), que dans la région du lac Alaotra, il y a actuellement

des paysans dépourvus de terres. Par contre, ces exploitations de types 1 ont le taux le plus élevé de location sur les parcelles sans accès à l'eau (pluviale) car le prix leur est abordable. Les exploitations du type 3 sont celles qui ont le plus de moyens pour louer des parcelles irriguées, sauf pour le cas d'Amparihintsoatra où la disponibilité de ces types de terroirs en elle-même est très limitée. Par ailleurs, pour les parcelles personnelles en location, si dans la partie Est du lac (Ambatosoratra et Amparihintsoatra), le type 3 tient la première place en termes de location de parcelle avec accès à l'eau, dans la partie Ouest, notamment pour Tanambe, les exploitations du type 1 ont le plus fort taux de location de parcelles irriguées. La proportion de superficies louées et en location du type 2 est plus ou moins similaire. Les superficies des parcelles travaillées par soi-même sur des terroirs irrigués augmentent au fur et à mesure qu'on passe du type 1 au type 3. Et inversement, elles diminuent pour les terroirs sans accès à l'eau.

Tableau 3-8: Superficie du mode de gestion des parcelles des exploitations en fonction de l'accessibilité à l'eau pour les différents types d'exploitation des quatre localités étudiées.

Localité	Type d'exploitation	Parcelle louée (appartenant à d'autre) (ha)		Parcelle en location (personnelle) (ha)		Parcelle travaillée par soi-même (ha)	
		irriguée	pluviale	irriguée	pluviale	irriguée	pluviale
Ambatosoratra	1	0.13	0.18	0.12	0.27	0.51	2.13
	2	0.31	0.17	0.31	0.10	1.90	1.93
	3	0.53	0.00	1.76	0.06	2.10	1.21
Amparihintsoatra	1	0.04	0.00	0.00	0.00	1.29	5.20
	2	0.25	0.00	0.00	0.00	3.38	3.83
	3	0.00	0.00	0.25	0.00	1.20	0.40
Tanambe	1	0.15	0.00	0.50	0.00	1.75	9.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	2.70
	3	1.15	0.00	0.00	0.00	3.42	0.30
Vohitsara	1	0.00	2.00	0.00	0.00	1.50	3.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.00
	3	1.14	0.00	0.00	0.00	6.00	0.05

III.3.5- Répartition des tâches dans une exploitation agricole

Dans une exploitation agricole, malgré un objectif commun, qui est de contribuer à la prospérité de l'exploitation, il existe une coordination des tâches et sa répartition suivant l'approche genre ([Tableau 3-9](#)). Aussi, l'homme et la femme ont chacun des rôles distincts et complémentaires. 21% des ménages dans la région d'Ambatondrazaka sont dirigés par les femmes ([MAEP, 2001](#)). Les activités nécessitant la force physique ainsi que l'élevage de types bovin, porcin, caprin et autres sont attribuées aux hommes, tandis que les activités culturelles utilisant beaucoup de main d'œuvre telles que le repiquage et le semis ainsi que l'élevage de volailles sont attribuées aux femmes. Aussi, la femme rurale assure-t-elle généralement la commercialisation des produits agricoles et la gestion du budget familial. Cette distribution des tâches avancée par les paysans confirme en partie le rôle des femmes dans le développement agricole décrit dans ([Action, 2003](#)) qui stipule que dans la riziculture, c'est la femme rurale qui s'occupe de la plupart des travaux de main- d'œuvre : curage des transport de la fumure, semis et sécurité des jeunes plants, travaux de repiquage, sarclage manuel et surveillance des animaux ravageurs, transport de la récolte après fauchage, battage et séchage, pilonnage manuel du paddy. Toutefois, le curage des canaux d'irrigation et le transport sont assurés par les hommes dans la région du Lac Alaotra et la récolte nécessite à la fois la participation de l'homme et de la femme.

Tableau 3-9: Répartition des taches des activités agricoles dans une exploitation agricole

Activités	Description	Male	femelle	mixte
Culturale	Quantité de semences			x
	Labour	x		
	Hersage	x		
	collecte de jeunes plants		x	
	Repiquage		x	
	Mise en place diguette	x		
	Désherbage		x	
	Moisson			x
	Mise en tas		x	
	dépaillage ou battage	x		
	"décortiquer"		x	
	transport	x		
Elevage	Bovin, porcin, ovin, caprin	x		
	Volaille		x	

III.3.6- Relation exploitation, changements climatiques et démographiques

La variation de la production sur les terroirs irrigués et pluviaux est différente suivant la manifestation des aléas. Compte tenu de la répartition des terroirs des différents types d'exploitation, le type 1 serait le plus sensible (effet négatif) à une diminution de la pluviosité, étant donné que la plupart des parcelles se trouvent sur des terroirs pluviaux. Il est également sensible (effet positif) à la croissance démographique étant donné que l'augmentation du nombre de la population sous entend une augmentation du nombre de la main d'œuvre. Ainsi-pourrait-il cultiver beaucoup plus de surfaces. Le type d'exploitation 3 serait le moins sensible à un raccourcissement de la période de pluie car non seulement la majorité des parcelles se trouvent sur des terroirs irrigués, mais également il dispose de moyens mécaniques pour accélérer les travaux agricoles. Toutefois, la production agricole dépend de la disponibilité des moyens financiers, vu qu'un raccourcissement de la période de pluie entraîne une perturbation des calendriers d'activités agricoles. Ainsi, il peut nécessiter beaucoup d'investissements durant la saison culturale (prix des carburants, main d'œuvre et autres coûts). Face aux changements démographiques, le type 3 serait sensible (effet négatif) à cause de la diminution de la production par individu. La sensibilité du type 2 aux changements climatiques est moins accentuée que pour le type 1. Toutefois, il serait beaucoup plus sensible aux aléas climatiques qu'aux changements démographiques, pour la raison que malgré l'augmentation du nombre de la population, le type 2 essaie de maintenir sa situation étant donné qu'il n'ose investir sur la culture de peur que la production ne soit pas bonne durant une saison. Ainsi, l'écart entre la production qu'il obtient actuellement et celle qu'il pourrait obtenir en investissant beaucoup pour faire face aux changements de la pluviosité est plus grand.

Conclusion

Le système agraire dans le lac Alaotra résulte d'un long processus d'évolution lié à l'histoire du peuplement du milieu. La période Merina a marqué l'introduction de la riziculture dans la région, et la période coloniale a vu la riziculture prendre le dessus sur l'élevage qui, auparavant, dominait le système agricole. Les différentes périodes qui se sont succédées, marquées par le phénomène de migration, ont contribué aux changements des pratiques agricoles. Par ailleurs, la situation géographique du milieu a favorisé le développement de la riziculture dans la région. Dotée de plus de 80000 ha de plaines, la région produit plus de 300000T de paddy.an⁻¹ et produit plus du tiers du riz commercialisé de toute l'île. Selon la disponibilité des terroirs dans chaque localité, le riz occupe la plupart des parcelles irriguées. La majorité des exploitations des localités de l'Est sont de petites tailles, utilisant des moyens manuels et dont la majorité des parcelles sont situées sur des terroirs pluviales. Par contre, celles de l'Ouest sont non seulement dotées de grandes superficies dont la majorité des parcelles ont accès à l'irrigation, mais également, elles ont des moyens beaucoup plus développés.

Références Bibliographiques

- A.Octavio, C.Ortega, Fawcett, R.H., A.Jordan, C. and Herrero, M., 2003. A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part II— Emulating the farming system. *Agricultural Systems*, 75 23-46.
- Action, P.e., 2003. Résolutions de l’atelier national de la Fédération des femmes rurales malagasy (FVTM). *journal des paysans de Madagascar*, 25.
- Bedoin, F., 2006. Etude des systèmes agraires de la petite région de Marololo, Paris, France, 81 pp.
- Ducrot, R., 2002. Régulation d’une production en situation d’incertitude et de fortes contraintes : exemple des systèmes rizicoles du lac Alaotra (Madagascar).
- INSTAT, 2006. Enquête Permanente auprès des Ménages 2004 Antananarivo.
- MAEP, 2001. Fiche signalétique de l'observatoire, Ministère-de-l'Agriculture-de-l'Elevage-et-de-la-Pêche, Antananarivo.
- Penot, E., 2009. Des savoirs aux savoirs faire : l’innovation alimente un front pionnier : le lac Alaotra de 1897 à nos jours.
- Razafimbelo, C., 1984. L'agriculture en Antsihanaka de 1820 à 1930. Contribution à l'histoire des Sociétés rurales Malgache. , Université de Paris VII, 404 pp.
- UPDR, U.d.P.p.I.D.R., 2003. Monographie de la région d'Ambatondrazaka. Ministère de l’agriculture, de l'elevage et de la pêche, Antananarivo.
- Viviane, R.M., 2007. Caractérisation des exploitations agricoles sur le périmètre irrigué PC 15 Vallée Marianina (Cas des Mailles 11/12), Univerité de Toamasina, Toamasina.

Chapitre. IV - Changement de pratiques culturelles dans la région du Lac Alaotra Madagascar face à la variation climatique et l'évolution démographique.

Résumé

L'évolution des pratiques agricoles en Alaotra résulte d'un long processus lié à l'histoire des séries évolutives du système agraire de la région : une combinaison des effets de la croissance démographique et de la variation climatique sur le système. Les différentes périodes historiques qui se sont suivies depuis l'origine du peuplement de l'Alaotra à nos jours ont contribué au développement de l'agriculture, et notamment à la riziculture. La riziculture, qui alimente le tiers des marchés nationaux, est menacée par le raccourcissement de la période de pluie et une saturation des plaines. Pourtant, avec la technique de labour très répandue dans la région, et une conquête incessante des flancs de collines (*Tanety*), un terroir fortement sensible à l'érosion, ces changements de pratiques remettent en question la durabilité du système et la sécurité alimentaire de toute l'île.

Abstract

Changes in agricultural practices in Alaotra basin are the result of a long process related to the history of the farming system in the region: a combination of the effects of population growth and climate changes on the system. The different periods that have followed until now have contributed to the development of agriculture, including rice culture. However, the region which supplies a third of national markets of rice is now threatened by climate changes and a saturation of the plains. However, with the conventional practices prevalent in the region, and a permanent conquest of hillsides (*Tanety*: a soil highly susceptible to erosion), these changes in practices question the sustainability of the system and food the security of the island.

Introduction

Dans un contexte de culture d'autosubsistance, certains chercheurs pensent que la composition de la population (origine et le nombre d'actifs) est un facteur déterminant de l'intensification de l'agriculture en terme d'innovation technique pour répondre aux besoins de la population (Boserup, 1981; Boserup, 1985; Netting, 1993; Turner and Ali, 1996). D'autres recherches ajoutent que le facteur démographique est un des principaux déterminants de la production (Turner and Ali, 1996; López and Sierra, 2011). La notion d'intensification et d'innovation technique incluent les pratiques agricoles qui répondent le mieux aux besoins alimentaires. Par ailleurs, d'autres études attribuent le facteur climatique comme facteur de la diminution de la production agricole. Les impacts du changement climatique incluent les effets sur la productivité et la disponibilité en eau notamment sur les cultures pluviaux (Thornton *et al.*, 2009). Le stress en eau par exemple est un facteur limitant du développement de la culture de riz, notamment avec un retard dans la période de pluie (English *et al.*, 2002; Brugere and Lingard, 2003).

Par ailleurs, la riziculture tient une place prépondérante et primordiale à Madagascar. Le riz constitue l'aliment de base de la population Malagasy. A partir de 1906, des activités d'extension, d'intensification et de diversification de cette filière avaient été menées dans la région du lac Alaotra, une des principales régions productrice de cette denrée, pour faire face aux besoins alimentaires de la population qui ne cesse d'augmenter (Viviane, 2007). Actuellement, d'importants changements dans la productivité de la région pourraient compromettre la sécurité alimentaire de l'île. Face à l'augmentation du nombre de la population doublée des impacts du changement climatique, les paysans adoptent des pratiques qui, pour eux, sont les plus adaptées à la situation socio-économique qui prévaut. On note alors un changement dans les pratiques agricoles et dans les systèmes de production en général. L'objectif de cette étude est, d'un côté, de comparer la perception paysanne du changement climatique et la réalité mesurée à partir des données météorologiques, et de l'autre, d'explorer les changements des pratiques développées par les exploitants agricoles à traverses diverses techniques d'adaptation utilisées par les exploitants agricoles pour faire face à la pression démographique et au changement climatique.

II- Matériels et méthodes

II.1-Sélection du milieu d'étude

L'étude a été menée dans la région du lac Alaotra, localisée à 150 Km (vol d'oiseau) au Nord Est de la capitale. Elle est à environ 750 Km d'altitude et se trouve sur une vaste plaine d'environ 80000 ha favorable pour la culture du riz pouvant produire plus de 200000 t.an⁻¹

de riz (Minten *et al.*, 2003). Elle a un climat tropical humide avec une saison pluvieuse d'Octobre à Avril, et une saison sèche (hiver) entre Mai et Septembre. La moyenne annuelle de la température est de 20.95°C et une précipitation annuelle de 1073mm avec une variation annuelle de 500 à 1500mm. Des enquêtes socio-économiques ont été réalisées dans quatre communes autour du lac (Figure 4-1). Deux se trouvent sur la rive Est : la commune d'Ambatosoratra retenue pour la présence de six terroirs existant sur le Lac, la commune d'Amparihintsokatra retenue pour la prédominance des pratiques de cultures pluviales. Et deux se trouvent sur la rive Ouest dont Tanambe retenue par la présence des pratiques le plus avancées autour du lac, et Vohitsara, sur la continuité topographique de Tanambe. La première et la dernière se trouvent près du lac.

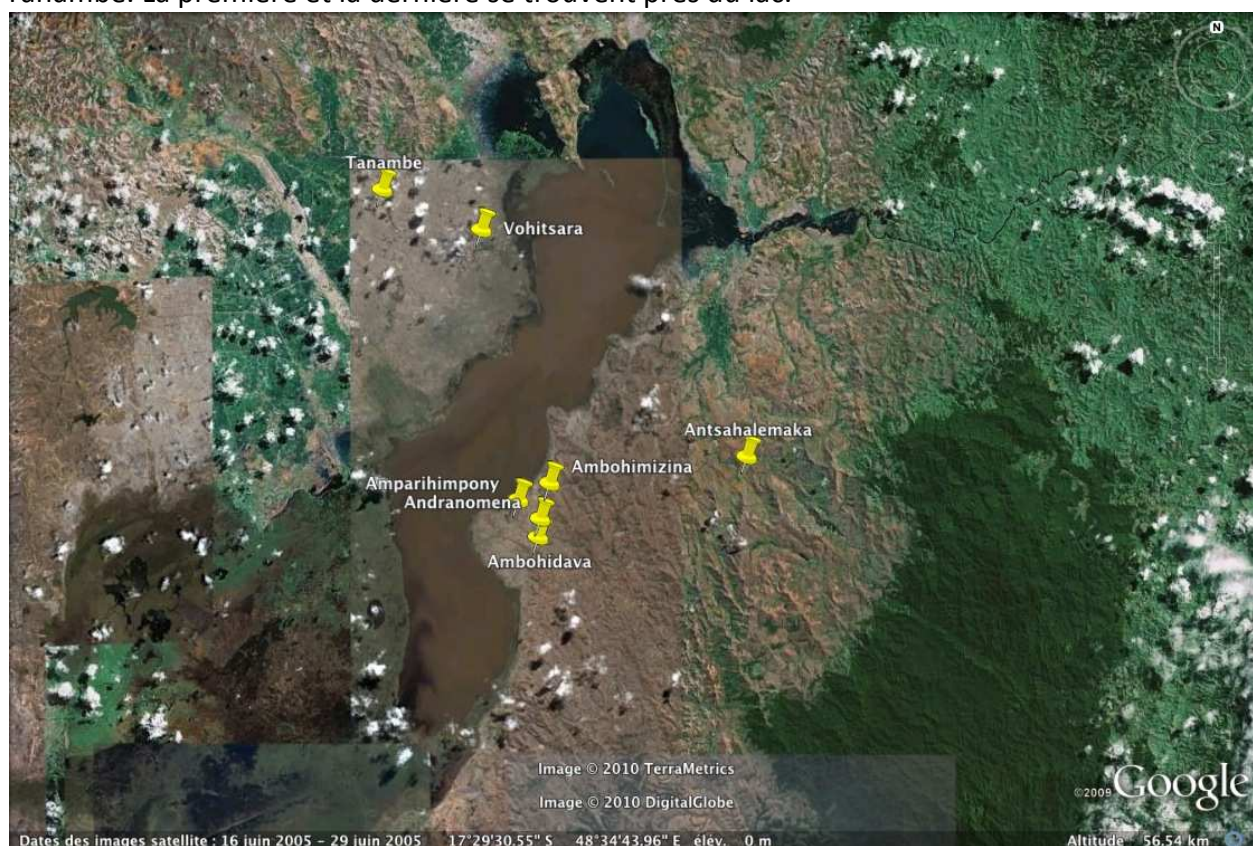


Figure 4-1 : Carte de localisation des localités et villages étudiés.

Source Google Earth

II.2-Choix d'échelle d'exploitation agricole

Le choix de différentes exploitations repose sur le fait que c'est au niveau des exploitations agricoles qu'on peut trouver les différents types de fonctionnement du système et que chaque exploitant ou « fermier » décide de ce qu'il va faire et comment il va le faire. Le mode de gestion s'opère au niveau de chaque exploitation, par contre, les changements de pratiques se font de l'échelle de groupements d'exploitations (type d'exploitation) au niveau national en passant par les localités et les régions (T.J. de Koeijer, 1999). Aussi, une typologie d'exploitation a été réalisée à partir d'une enquête menée auprès des paysans (cf. chap. 1).

II.3-Spatialisation et description des terroirs

Un transect a été établi pour montrer les différents types topographiques. L'identification des terroirs et leur utilisation ont été réalisées à partir de prises de point GPS et des enquêtes réalisées auprès des exploitants agricoles. Différents types de parcelles peuvent être identifiés dans une exploitation, avec un mode de gestion et des activités de production différents (Tittonell et al. 2005). Aussi une carte montrant les terroirs existants, l'occupation des sols et leur dénomination par les paysans a été réalisée.

II.5- Variation climatique en Alaotra : Changement de la pluviosité et de sa perception par les paysans

Des enquêtes auprès de 103 exploitations réparties sur les quatre localités ont été réalisées afin de déterminer la perception paysanne de la variabilité climatique et de leur mode d'adaptation. Les données obtenues sont de la forme qualitative et ont été traduites de manière quantitative. Elles ont été ensuite confrontées avec des données des trente dernières années (1977-2007) issues de stations météorologiques les plus proches dans le but d'affirmer ou d'infirmer la perception paysanne.

II.6- Perception paysanne du changement climatique et notion de bonne et mauvaise saisons culturales.

L'influence du changement climatique, notamment de la pluviométrie⁸, sur le système est issue de l'analyse des données recueillies suite aux enquêtes sur les différentes pratiques dans la région. Les enquêtes menées auprès des paysans ont également permis d'identifier la définition de bonne et mauvaise saisons culturales. Leur description a été classifiée suivant la perception des paysans, notamment par rapport à la pluviosité.

II.7- Changement des pratiques

L'identification des changements des pratiques auprès des exploitations agricoles a été tirée du mode de gestion des différents types d'exploitation. Il est notamment lié aux changements des calendriers culturels, à la diversification des cultures, aux choix des semences et à la gestion des parcelles situées sur les différents terroirs.

III- Résultats et discussions

III.1- Description physique des terroirs

Six types de terroirs ou étages écologiques existent dans la région du Lac Alaotra dont Les rizières Basses (RB) qui sont également appelées rizières de bonne maîtrise d'eau, les rizières de bas fonds (RBF) situées sur les vallons, les rizières au Bord du lac (RBL), les rizières Hautes (RH) ou rizières à mauvaise maîtrise d'eau ; les *Baiboho* (Bb) qui sont généralement des

⁸ Pluviométrie, Définition : Etude de la répartition des pluies dans l'espace et dans le temps

bourrelets de berge, et les *Tanety* (Tan) qui sont situés sur les collines. Les six terroirs existants sont tous représentés dans la localité d'Ambatosoratra, ce qui peut ne pas être le cas dans les autres localités (Figure 4-2). Les trois premiers terroirs constituent les terroirs irrigués tandis que les trois derniers constituent les terroirs pluviaux (Figure 4-3).

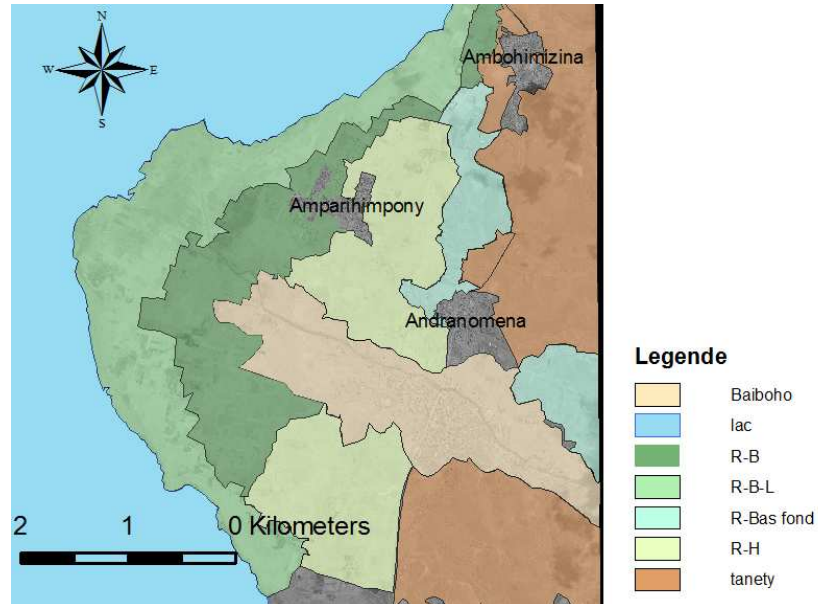


Figure 4-2: Carte des différents terroirs de la localité d'Ambatosoratra.

Bouirelet de berge ou *Baiboho*. Rizière basse (RB), Rizière Bord du lac (RBL), Rizière de Bas Fond (RBF) Rizière Haute (RH) et sur les collines (*Tanety*).

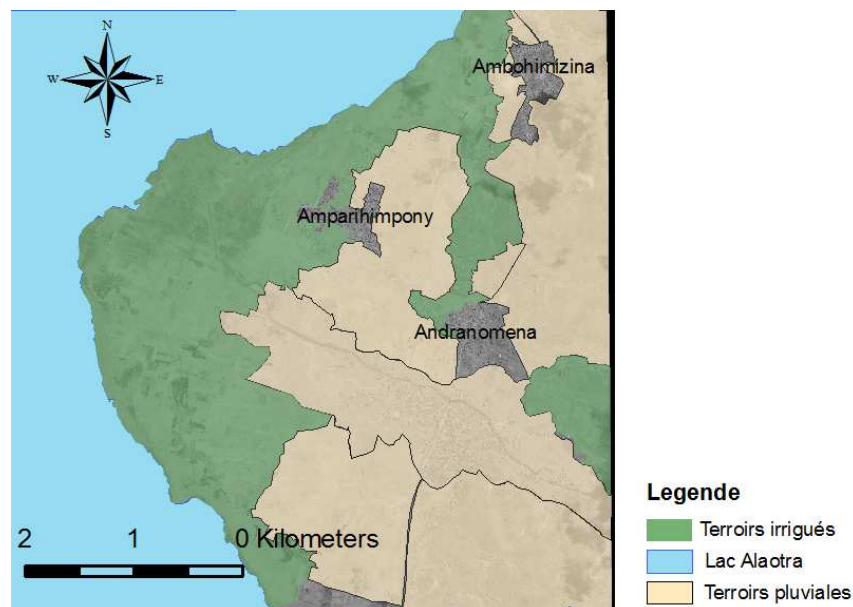


Figure 4-3: Distribution des terroirs suivant leur accès à l'eau de la localité d'Ambatosoratra.

Les terroirs (*Tanety*, *Baiboho*, Rizière Haute) en beige sont des terroirs de cultures pluviales et les terroirs irrigués (RB, RBF et RBL) sont en vert.

III.1-Perception paysanne du changement climatique.

III.1.1- Description paysanne du changement climatique en Alaotra

Les exploitants agricoles, à partir du changement dans leur calendrier cultural, confirment une tendance vers un changement climatique qui se manifeste par des modifications des régimes pluviométriques, plus précisément par un raccourcissement de la période de pluie et la hausse de la température. Ces modifications sont appréciées de diverses manières en fonction des personnes et de leur localisation géographique. D'un côté, ces exploitants ont constaté que la quantité des pluies a diminué depuis 1966/1972 selon l'âge des paysans enquêtés. Avant cette année, la saison pluvieuse s'étalait sur une période de 5 mois, du mois d'Octobre au mois de Mars. Les paysans ont catégorisé la pluie en 6 types et à chaque type correspondaient des travaux liés aux activités agricoles. Ces six types étaient (i) la première pluie (oran-tokana) du 10 au 15 Octobre annonçant le début de la saison des pluies, et où les paysans se préparent pour la saison culturale, (ii) la pluie de 3 jours (oran-kateloana) arrivée une ou deux semaines après la première pluie (début Novembre) correspondant à la préparation des sols et le semis, (iii) vers mi-Novembre, sept jours de pluie successifs (oran-kerinandro) pendant lesquels les paysans préparent les canaux d'irrigation des rizières, début du repiquage des plants de riz, début la culture d'arachide et de maïs, (iv) du mi-Novembre au mois de Janvier arrive la pluie orageuse (oram-batravatra), une période latente, (v) vers fin Janvier au début Février, la période de (valasira) caractérisée par l'existence des crachins pendant laquelle les paysans sarclent leurs rizières ; (vi) et du 15 Mars au 15 Août la pluie d'hiver (oran-dririnina) permettant la culture de contre-saison sur rizière, surtout le haricot. Pour les paysans d'Ambatondrazaka, la quantité des pluies à cette époque suffisait à satisfaire les besoins en eau du riz et des autres cultures et la production était satisfaisante. A partir de 1972, le calendrier cultural a commencé à changer à cause de la perturbation du régime pluviométrique. La saison pluvieuse a connu un raccourcissement. La pluie ne dure plus que 3 mois, la première pluie n'arrive qu'au mois de Décembre et se termine en Février et sur les six types de pluie sus-mentionnés, il n'en reste plus que trois dont la première pluie au mois de Décembre, la pluie orageuse de Janvier à Février et la pluie d'hiver. De l'autre côté, les exploitants agricoles ont également confirmé qu'il y a une augmentation de la température depuis 1966/1972. Avant cette fourchette, la saison chaude s'étalait du mois de Septembre au mois de Mars (6 mois) et la saison froide du mois d'avril au mois d'Août (4 mois). Alors qu'actuellement, la saison chaude s'étale du mois d'Octobre au mois d'Avril (7 mois) et la saison froide du mois de Mai au mois de Septembre (4 mois). Il y a, donc, un rallongement de la saison chaude.

Dans la perception paysanne de la variation de la température et de la pluviosité, ils prennent en compte les événements majeurs qui se sont passés dans le pays, dans le village, et au niveau de chaque ménage. Les différentes dates avancées par les paysans coïncident avec des événements historiques au niveau national et au niveau local : (eg. 1959 est la date

ou une grande partie de l'île a été inondée, la date de 1972 est la date de la fin de la première république, 1982 correspond à l'inondation qui a ravagé le village d'Andranomena et a fait des dizaines de morts. Aussi est-il nécessaire de toujours confronter avec les données issues des stations météorologiques. Toutefois la tendance en général sur le raccourcissement de la période de pluie ou plutôt du retard dans l'arrivée de la pluie a été confirmée par les données météo.

III.1.2- Perception paysanne de bonnes et mauvaises saisons de culture

Les exploitants agricoles associent le changement climatique avec la notion de bonne et mauvaise saisons de culture. L'expérience des paysans a permis de caractériser cette notion. La majorité des exploitants agricoles de la localité d'Ambatosoratra et d'Amparihintsoatra réfèrent une bonne saison à une année avec pluie en quantité suffisante (Tableau 4-1). Cela est dû à l'absence de source d'irrigation et qui rend les exploitants agricoles dépendants de la pluie. Tandis que les deux localités de l'Ouest incluent la bonne répartition à la quantité de pluie pour décrire une bonne saison. Par ailleurs, la notion de mauvaise saison se focalise en trois critères dont la courte période de pluie (retard dans l'arrivée et fin précoce), la présence de poches de sécheresse, et l'excès de pluie. Les deux premiers critères ont été cités par les paysans pour décrire cette mauvaise année. Ces deux facteurs sont étroitement liés à l'absence de barrages et de sources d'irrigation. Par contre plus de 60% des paysans de la localité de Vohitsara associent la notion de mauvaise saison à un excès de pluie, ce qui peut être expliqué par l'importance de parcelles au bord du lac (les parcelles de la localité de Vohitsara sont les plus exposées à une remontée brusque des eaux). Une bonne année relate le potentiel de la production, la moyenne relate le mode de gestion actuel en général des exploitations et la mauvaise année relate une possibilité d'un changement climatique. Ainsi, une répartition inégale des pluies selon les saisons peut entraîner des situations à la fois favorables et néfastes à la production rizicole autant pour les localités dont la majorité des parcelles sont situées au bord du lac, que pour celles composées essentiellement de parcelles pluviales. En effet, la production rizicole dépend en grande partie de la teneur en eau d'une surface donnée et donc de la quantité de pluie dont reçoit une parcelle donnée ainsi que des propriétés du sol (la structure et la texture du sol).

III.2-La variation climatique issue des données météorologiques

Le régime pluviométrique durant les trente dernières années (1977-2007) a connu une variation (Figure 4-4). La distribution des précipitations entre les trois décades présente des différences. En effet, la moyenne des précipitations de la première décade de 1977-1987, présente une évolution lente et progressive entre les mois d'Octobre et Mars. Aussi, les variations inter- annuelles montrées par la première et troisième quartiles ainsi que le minimum et le maximum suivent le rythme de la moyenne et la médiane. Pour la deuxième décade (1987-1997), la moyenne et la variation de la pluviométrie des mois d'Octobre,

Novembre sont faibles, ce qui s'explique par une faible amplitude interannuelle de la variation et une faible précipitation durant ces mois. Par contre, la variation est très forte entre Décembre et Janvier, pouvant atteindre les 500mm. La troisième décade (1997-2007) présente le plus de différences avec une forte variation entre Janvier et Février et une régression de la précipitation au mois de Mars. Ainsi, les valeurs issues de la station météo la plus proche confirment les propos des paysans sur la tendance vers un raccourcissement de la période de pluie, c'est-à-dire une régression des précipitations en Octobre, Novembre et Mars.

L'aspect scientifique et les savoirs locaux sont des travaux complémentaires mais pas différents. Malgré l'aspect contradictoire de la prévision météo et la perception paysanne sur la diminution de la période de pluie (D'Orgeval, 2008), la perception paysanne du changement climatique combinée avec le savoir scientifique permet de cerner le sujet (Guibert H., 2010).

Tableau 4-1: Traduction de la perception paysanne de bonne et mauvaise saison culturelle.

Région	Bonne saison			Mauvaise saison		
	Pas d'excès de pluie	Pluie en quantité suffisante	Pluie suffisante et bien répartie	Poche de sécheresse	Courte période de pluie	Excès de pluie
Ambatosoratra	10	34	21	39	47	10
Amparihintsokatra	0	12	3	12	13	0
Tanambe	1	3	13	3	3	1
Vohitsara	10	1	14	1	2	10

*les exploitants pouvaient sélectionner une ou plusieurs réponses.

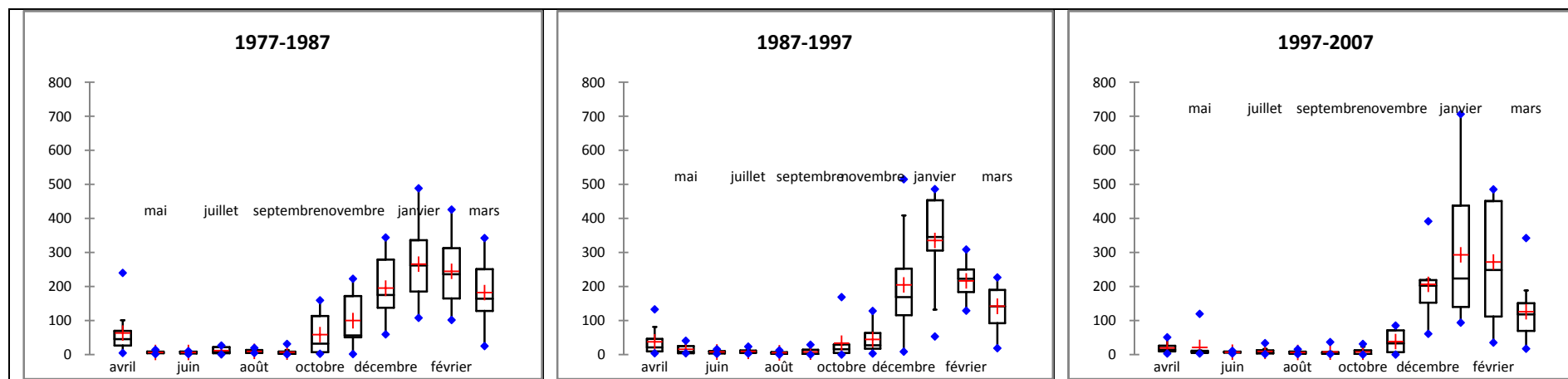


Figure 4-4: Variation mensuelle de la précipitation de 1977 à 2007. De gauche à droite, les décades de 1977-1987, 1987-1997-1997-2007.

Période	Activité	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jui	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Avant 1972/1985	Semis												
	Repiquage												
	Sarclage												
	Récolte												
Après 1972/1982	Semis												
	Repiquage												
	Sarclage												
	Récolte												

Figure 4-5: Calendrier des activités agricoles incluant le semis, le repiquage, le sarclage et la récolte pour deux périodes et selon la perception paysanne.

III.3-Changement démographique

L'accroissement démographique de 3,1 dans la région de l'Alaotra est l'un des plus élevés de l'île. La densité de peuplement est passée de 28,46 hab.km⁻² en 1993 à 49,53 hab.km⁻² en 2000 pour le district d'Ambatondrazaka (Ambatosoratra et Amparihintsoakatra) et de 23,52 à 29,63 pour celui d'Amparafaravola (Tanambe et Vohitsara) (UPDR, 2003). 85% du total vivent dans les zones rurales et dépendent de l'Agriculture. Cette croissance démographique est due à l'accroissement naturel élevé de 3.01‰ pour l'Est du lac et 3,39‰ pour l'Ouest, ainsi qu'à l'importance de l'immigration. Dans l'évolution du système agraire et de la pratique culturelle dans l'Alaotra, l'immigration a toujours joué un rôle important. Aussi bien dans la technique que dans la conquête de terres cultivables, les migrants ont beaucoup contribué au changement des pratiques (Penot, 2009).

III.4- Changements dans les pratiques induites par le changement climatique

Les changements induits par la variation climatique se focalisent surtout sur le calendrier cultural, la diversité de cultures et les variétés utilisées.

III.4.1-Changement des calendriers culturels

Les calendriers culturels ont été modifiés. Le changement se manifeste par le début et la durée de la saison culturale et la contre saison. Le retard de l'arrivée de la pluie fait reculer les calendriers agricoles d'environ un mois (Figure 4-5). Si la saison a commencé en Octobre, la préparation du sol a pris du retard pour ne commencer que vers Novembre. Les exploitants agricoles sont ainsi contraints de s'adapter en modifiant la gestion de leurs parcelles. En effet le calendrier des activités avant 1985 montre une période de labour commençant à partir du mois d'Octobre pour se terminer au mois de Décembre, un repiquage à partir de Novembre, le sarclage au mois de Janvier et Février et la récolte entre Mai et Juillet. Notons que le calendrier avancé par les exploitants agricole est confirmé par le résultat de (Blanc-Pamard, 1987).

Par ailleurs les calendriers culturels varient selon les localités et plus précisément selon la disponibilité des terroirs et les conditions auxquelles ils se trouvent (ex. l'accès à l'eau), car l'accessibilité à l'eau de chaque terroir est différente. Ainsi, les activités culturelles mensuelles des localités ayant des accès à l'eau plus faciles (cas des localités situées sur la rive Ouest du Lac) présentent un calendrier plus étalé allant du mois d'Octobre au mois de Juin avec deux pics qui se trouvent respectivement au mois de Décembre et Mai (Figure 4-6a). Cela s'explique par l'existence de barrages de retenue qui alimentent les parcelles de ces localités dès le mois de Novembre. La localité d'Amparihintsoakatra présente également la même fréquence d'activité que les deux précédentes au mois de Novembre, du fait que les parcelles de bas fonds en grande quantité dans cette localité ont une forte accessibilité à

l'eau venant de sources. Toutefois la même fréquence est maintenue jusqu'au mois de Janvier à cause des cultures pluviales de cycle court (environ 100 jours) sur les collines ou *Tanety*, ce qui explique le taux d'activités du mois d'Avril dans cette localité. Ainsi, les exploitants de cette localité pratiquent les cultures sur les bas fonds en premier lieu et ensuite attendent l'arrivée des pluies pour mener les activités sur les *Tanety*. Le calendrier cultural de la localité d'Ambatosoratra présente un assujettissement à l'arrivée des pluies car, d'un coté, dotée de plusieurs terroirs dont l'accessibilité à l'eau est différente, cette localité est également démunie de barrage de retenue de l'autre. Ainsi, le début des activités, notamment du travail des sols, dépend de l'arrivée des pluies. Toutefois, depuis quelques années, certains exploitants agricoles préfèrent avancer ce travail du sol pour gagner plus de temps durant la saison culturale, c'est-à-dire que ce type d'activités se fait une fois la période de récolte terminée sur les parcelles irriguées. L'accessibilité à l'eau permet d'entamer le travail du sol malgré une faible pluviosité. Le calendrier cultural avancé par les paysans confirme le résultat de l'étude menée par (Blanc-Pamard, 1987) autour du lac.

Egalement, la date de semis est différente d'une région à l'autre (Figure 4-6b). La localité d'Ambatosoratra connaît le plus de retard en semis (le pic se trouve au mois de Décembre), dû à la présence de tous les terroirs doublée de la non maîtrise de l'eau (absence de barrages ou de sources d'irrigation). Par contre, dans les trois autres localités à savoir Amparihintsoakatra, Tanambe et Vohitsara, la plupart des semis se font au mois de Novembre ; ce qui est justifié par la présence des rizières de bas fonds, où l'irrigation n'est pas le problème principal dans la localité d'Amparihintsoakatra, et par la l'accessibilité à l'eau grâce aux barrages de retenue dans les deux autres localités.

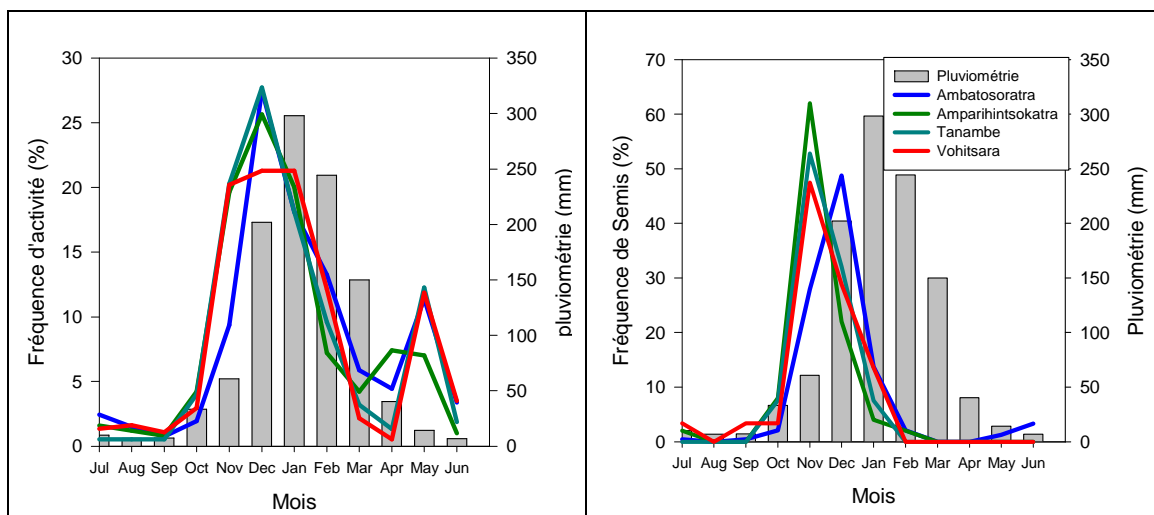


Figure 4-6: Fréquence d'activités culturelles en fonction de la pluviométrie.

(a) Fréquence d'activités culturelles mensuelles des quatre localités étudiées et distribution mensuelle de la pluviométrie. (b) fréquence d'activités de semis de riz des quatre localités et distribution mensuelle de la pluviométrie.

III.4.1.1- Travail du sol et semis avancés

Généralement le travail du sol et le semis sont deux activités qui se précèdent de quelques jours. Toutefois, pour faire face à la variabilité climatique, et plus précisément à un raccourcissement de la période de pluie, certains exploitants agricoles préfèrent avancer le calendrier de la préparation du sol pour gagner du temps. Ils réalisent le labour juste après la récolte. Sur les 240 parcelles ayant été cultivées en riz dans la localité d'Ambatosoratra, 67 d'entre elles ont été labourées avant la période de pluie dont 18 ayant été semis durant cette période, c'est-à-dire entre le mois d'Avril et le mois d'Octobre (Tableau 4-2). Les 49 restants s'ajoutent aux 168 parcelles ayant attendu la période de pluie pour être semis (au total 217 parcelles ont été semis durant la période de pluie dans la localité d'Ambatosoratra). Pour le cas de la localité d'Amparihintsokatra, plus du deux-tiers (2/3) des parcelles rizicultivées ont été labourées avant l'arrivée des pluies et plus de 80% ont été semis durant la période de pluies. La localité de Tanambe connaît le moins de parcelles ayant été labourées avant la période des pluies (17%). Pour la localité de Vohitsara, ces derniers types de parcelles représentent plus 22% des parcelles cultivées en riz. On peut ainsi déduire que les localités avec moins d'accès à l'eau ont des proportions élevées de parcelles labourées avant la période des pluies.

Par ailleurs, les parcelles labourées avant la période des pluies ont généralement un rendement assez élevé du fait du gain de temps qui permet à la culture de bénéficier non seulement de beaucoup de pluies, mais également du temps pour la croissance de la plante.

Tableau 4-2: Effectif des parcelles cultivées en riz ayant été labourées et semis durant trois périodes et rendement rizicole correspondant en fonction de l'arrivée de la pluie

Région	Période de pluie*	Parcelle labourée	Parcelle semis	Rendement	Écartype
Ambatosoratra	Avant	67	18	2.70	1.07
	Durant	170	217	2.41	1.16
	Après	3	5	2.93	1.36
Amparihintsokatra	Avant	19	5	3.29	1.43
	Durant	30	44	3.29	1.46
	Après	1	1	3.00	0.00
Tanambe	Avant	9	4	4.04	1.29
	Durant	44	49	3.44	0.77
	Après	0	0	0.00	0.00
Vohitsara	Avant	13	6	2.68	1.16
	Durant	46	53	3.37	1.06
	Après	0	0	0.00	0.00

* « Avant » désigne les parcelles ayant été labourées ou semis avant l'arrivée des pluies c'est-à-dire entre le mois d'Avril et le mois d'Octobre ; « Durant » désigne la période entre le

mois de Novembre et le mois de Janvier, et « Après » désigne la période entre Février et Mars.

III.4.1.2- Variation de l'utilisation et du prix de la main d'œuvre

En termes de main d'œuvre, on peut noter que la moyenne d'utilisation des MO est supérieure dans les deux localités de l'Est ([Tableau 4-3](#)). En effet, la moyenne pour le travail du sol est de 4 hj.ha^{-1} pour les localités de l'Ouest contre plus de 7 pour celles de l'Est. Cela est dû à l'utilisation des moyens mécaniques sur la rive Ouest du lac (plus de 65% des exploitants agricole dans cette zone utilisent le tracteur ou le Kubota pour labourer le sol contre moins 30% pour les localités de l'Est. Cf. chap 1). Pour le semis, il varie entre 4 et 5 pour l'Ouest contre 8 et 12 pour l'Est. La majorité de semis de l'Ouest sont effectuées sur les rizières. Ce qui implique qu'ils seront en majorité repiqués. Tandis que dans la partie Est du lac, dû à l'importance des terroirs pluviaux, le semis englobe à la fois le semis pour le repiquage et le semis en poquet. Pour le repiquage, si la moyenne est de 30 hj.ha^{-1} pour les localités de l'Est, la quantité de MO utilisée à l'Ouest est de 20 hj.ha^{-1} . La localité de Tanambe présente une exception avec le repiquage car il est effectué en majorité en ligne. Pour la récolte, la moyenne de MO de l'Ouest est de 8 hj.ha^{-1} contre 12 hj.ha^{-1} pour l'Est.

En outre, ce changement de calendriers culturels a un impact sur la demande en main d'œuvre ainsi que sur le prix. Le raccourcissement de la période de pluie entraîne une concentration des activités culturelles et crée ainsi une forte variation du prix de la main d'œuvre. Du mois de Novembre au mois de Février, le prix moyen de la main d'œuvre est de 2000 Ar.hj^{-1} ([Figure 4-7](#)). Cette période correspond au période à la fois du travail du sol, au semis, au repiquage, et au sarclage. Du mois d'Août au mois d'Octobre, le prix de la main d'œuvre est à son minimum car aucune activité culturelle n'est effectuée durant cette période à part le labour avancé. Entre les mois d'Avril – juillet, le prix augmente pour atteindre les 1500 Ar.hj^{-1} . Cette période correspond à la récolte des variétés de culture à cycle court, suivie par celle des variétés à cycle long.

La quantité de main d'œuvre utile dépend des pratiques et des moyens mis en œuvre, mais également des moyen humains. Les pratiques les plus développées nécessitent moins de main d'œuvre, mais par contre requièrent des ouvriers compétents. Traduite en termes de quantité, la disponibilité des mains d'œuvre varie notamment selon le terroir et les moyens (manuel ou mécanique).

Ce prix moyen varie également selon la durée de travail. Généralement, elle est basée sur quatre heures de travail journalier. Par ailleurs, avec la tendance vers un raccourcissement de la période des pluies et la fréquence des poches de sécheresse, les paysans préfèrent investir beaucoup plus sur la quantité de travail durant la journée où il y a de la pluie. Aussi, le nombre de main d'œuvre et la durée du travail par jour peuvent varier de 4 à 9 heures selon les moyens financiers à la disposition des exploitants agricoles ([Tableau 4-4](#)).

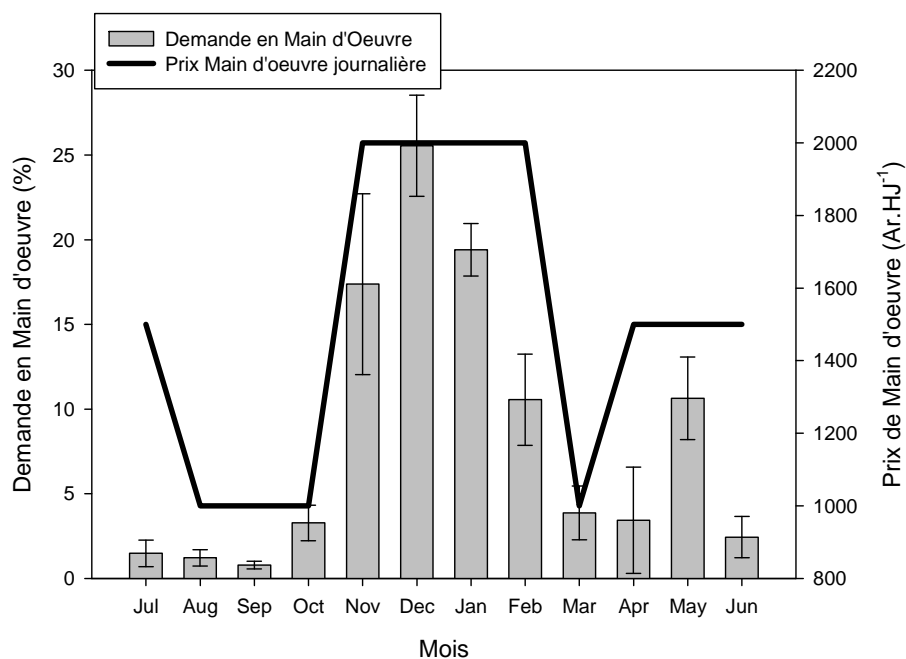
Tableau 4-3: Moyenne de la quantité de main d'œuvre utilisée pour quatre activités culturales dans les localités étudiées.

Activités	Ambatosoratra	Amparihintsokatra	Tanambe	Vohitsara	SE
Travail du sol (hj.ha^{-1})	9	7	4	4	4
Semis (hj.ha^{-1})	12	8	5	4	6
Repiquage (hj.ha^{-1})	29	31	36	14	19
Récolte (hj.ha^{-1})	13	11	10	6	8

Tableau 4-4 : Prix générale de la main d'œuvre journalière suivant la durée de travail

Heure de travail	Durée (h)	Prix (Ar)
7h-11h	4	1500
7h-12h	5	2000
7h-14h	7	2500
7h-15h	8	3000
7h- 16h	9	4000

NB : A partir de 7 h de travail par jour, il faut soustraire la durée du déjeuner.

**Figure 4-7: fréquence moyenne d'activités des quatre localités et prix moyen de la main d'œuvre journalière.**

III.4.2- La diversification des cultures

La variation climatique a non seulement induit une perturbation au niveau des calendriers culturels, mais également, elle a contribué à la diversification des cultures dans la région. Contraints de subvenir aux besoins des ménages, avec le raccourcissement de la période des pluies, les paysans commencent à cultiver d'autres cultures, aussi bien en saison qu'en contre saison sur certains terroirs, notamment les *Baiboho*, les *Tanety* et les rizières hautes (Figure 4-8). Actuellement, d'après les résultats de l'enquête portant sur 103 exploitations autour du Lac Alaotra, les autres cultures occupent en moyenne 94% des *Tanety* et 87% des *Baiboho* (Tableau 4-5). Aussi, toutes les parcelles de rizière (rizière basse, rizière haute, rizière de bas fond et rizière au bord du Lac) sont, de part leur dénomination, généralement cultivées en riz. Toutefois, certains exploitants commencent à y planter des cultures de contre saison. Ainsi, 11% des RBL sont actuellement occupées par ces dernières, 8% pour les RBF, 5% pour les RH et 4% pour les RB. En effet, le riz constituait à la fois la principale source de revenu (sinon la seule) et servait également de principale culture vivrière. Actuellement, les paysans font d'autres cultures de rente à l'exemple de l'arachide comme source d'argent, les tomates qui, depuis 1960, connaissent un grand essor notamment dans la vallée du Sud-Est de la ville d'Ambatondrazaka (Mamodjée, 2007). Il y a également le développement de la culture de pommes de terre dans les districts d'Ambatondrazaka et d'Amparafaravola (Rakotondrazafy, 2007).

III.4.3- Une utilisation de plusieurs variétés de cultures

L'utilisation des variétés à cycle court a été initiée par le centre agronomique du lac Alaotra (CALA) dans les années 1970/80 avec la mise au point de nouvelles variétés de riz non photosensibles en riz irriguées et pluviales. Cela a été suivi par la diffusion à grande échelle de variétés poly-aptitudes de type FOFIFA 154 ou SEBOTA (cycle de 90 à 100 jours) ou de variété de moyen cycle comme le SEBOTA (entre 105 à 150 jours (Penot, 2009). Bien que le rendement des variétés à cycle moyen et court soit nettement inférieur par rapport à celui des variétés à cycle long (Tableau 4-6), les paysans ont tendance à préférer les variétés première dans le but de limiter les risques liés à la variation de la pluviosité. Si la période de récolte est à peu près la même pour les deux périodes comparées, seuls quelques paysans ayant des rizières à bonne maîtrise d'eau (Rizière basse et rizière de bas fond) cultivent actuellement la variété Makalioka (cycle de 180 jours), une des variétés de riz de haute qualité à Madagascar ; celles à cycles court et moyen ont de plus en plus d'importance pour les paysans.



Figure 4-8: Conquête des rizières au bord du lac

Tableau 4-5: Fréquence de distribution du riz et des autres cultures sur les différents terroirs de quatre localités du Lac Alaotra.

Région	Terroirs	n	Riz(%)	Autres occupations du sol (%)
Ambatosoratra	Bb	77	38	62
	RB	79	96	4
	RBF	31	87	13
	RBL	22	86	14
	RH	90	93	7
	Tan	75	13	87
Amparihintsokatra	Bb	3	0	100
	RB	3	100	0
	RBF	39	97	3
	RBL	0	0	0
	RH	7	86	14
	Tan	58	5	95
Tanambe	Bb	3	0	100
	RB	53	92	8
	RBF	0	0	0
	RBL	1	100	0
	RH	2	100	0
	Tan	13	8	92
Vohitsara	Bb	0	0	0
	RB	43	95	5
	RBF	0	0	0
	RBL	17	82	18
	RH	4	100	0
	Tan	3	0	100

Tableau 4-6: Variation de la production rizicole selon trois variétés de culture dans les quatre zones de la région du Lac Alaotra.

Région	Variété*	n	Production (t.ha ⁻¹)
Ambatosoratra	Cc	27	2.11
	Lc	78	2.65
	Mc	130	2.48
Amparihintsoakatra	Cc	3	1.31
	Lc	14	4.24
	Mc	33	3.05
Tanambe	Cc	0	0.00
	Lc	50	3.54
	Mc	3	3.58
Vohitsara	Cc	55	3.20
	Lc	2	4.00
	Mc	2	2.75

*Cc : Court cycle <105 jours ; Mc : moyenne cycle entre 105 et 150 jours ; Lc : Long cycle > 150 jours

III.5- Changements des pratiques induits par le changement démographique

Les changements induits par l'évolution démographique se concentrent sur l'extensification de la superficie cultivée et l'utilisation de la pratique du labour, l'intensification agricole avec l'utilisation de moyens mécaniques, une utilisation de ressources financières plus importantes et un mode de gestion d'exploitation orientée vers un regroupement des parcelles par les riches.

III.5 .1-Extensification de la superficie cultivée et pratique du labour

Le phénomène de migrations et de l'accroissement naturel de la population a entraîné une extensification de l'agriculture. Différentes populations avec des techniques diverses d'exploitation du milieu se sont côtoyées très tôt. La venue des Merina ont constitué la principale raison de la conquête des plaines rizicultivables ([Razafimbelo, 1984](#); [Andrianjanaka, 2007](#)). La venue des colons ont contribué à cette conquête des plaines. La valorisation des *Tanety* et des *Baiboho* s'est faite tardivement avec la saturation des plaines vers les années 1980 ([Penot, 2009](#)). En effet, selon ce dernier, la décennie a été marquée tant par le développement (Somalac) que par la recherche (projet Intensification rizicole) de l'importance des *Tanety* et des *Baiboho*. Cela a amené les paysans et les migrants à coloniser de plus en plus les *Tanety* pour la diversification. Il ajoute que l'Est (Imerimandroso) et dans les zones les plus reculées de l'Ouest, certaines familles n'ont plus accès aux rizières avec une plus ou moins bonne maîtrise de l'eau et n'ont que des terres exondées ou le risque de culture est important.

Actuellement, toute la population se lance dans la conquête de terres cultivables en bordure du lac et également sur les pentes. La conquête de ces deux types de terre est plutôt liée car, avec le système de labour pratiqué par la grande majorité de la population, on peut noter une forte érosion (P.Chaperon *et al.*,1993) et outre les impacts sur le sol et la production, cela entraîne une extension des parties inférieures de la région, c'est-à dire les rizières au bord du lac. Aussi, les paysans utilisent-ils tous les moyens pour avoir le maximum de production. Le nombre d'actifs a également augmenté si bien que la surface utilisée par actif diminue.

III.5. 2- Utilisation des moyens mécaniques

Le cheptel bovin constituait à la fois un moyen de travail et un signe de richesse ; la superficie cultivée était en fonction du nombre de bovins. Actuellement, avec l'introduction des motoculteurs (beaucoup plus rapide et moins de risque de vol), les exploitants commencent à abandonner l'ancien système. A partir de 2004, le surplus de production de certains exploitants agricoles leur a permis d'investir dans la mécanisation et de se procurer ainsi de motoculteurs (Penot, 2009). L'utilisation de ce type d'outils est beaucoup plus développée dans l'Ouest de la région (plus de 65% contre inférieure à 30% dans la partie Est (cf. chap1)). Les motoculteurs sont utilisés à la fois pour le travail du sol (labour, hersage), le transport et la vente de service à d'autres agriculteurs et le battage du riz lors de la récolte. Leur utilisation dans le premier service permet aux exploitants agricoles de gagner du temps dans le calendrier cultural, notamment avec le raccourcissement du temps de hersage (durée 1 jour/ha au lieu de trois passages de herse répartis sur une semaine). Pour les exploitations de grande taille, cela leur a permis d'un coté de maîtriser le calendrier culturales et de l'autre de cultiver de grandes superficies. Toutefois, le développement de l'utilisation de cet outil, ainsi que le risque fréquent des vols de bœuf dans la région, ont considérablement diminué le nombre de cheptel bovin.

Par ailleurs, L'utilisation des motopompes, bien que ce soit encore peu pratiquée, existe déjà dans la région pour alimenter les différentes parcelles en eau.

III.5. 3- Utilisation des ressources financières plus importantes

Quelle que soit la pratique, les moyens financiers sont déterminants dans la production au point où les plus pauvres seraient les plus vulnérables. Du point de vue de la main d'œuvre, faute de pouvoir utiliser la main d'œuvre nécessaire, ils sont contraints soit de faire louer certaines parcelles, soit de les laisser en friche. Notons que la jachère ne donne aucun rendement, mais procure de la matière organique au sol non cultivé.

III.5.4- Un mode de gestion des exploitations orienté vers la location des parcelles.

Il y a trois sortes de location des terres dans la région du Lac Alaotra : (i) la location en totalité qui se fait en espèces. Le contrat peut varier d'une saison culturale à plusieurs années. Actuellement, les exploitations du type 1 (cf. chap1) sont les plus orientées vers la location de longue durée. Dû au raccourcissement de la période de pluie et au manque de moyens entraînant une limitation dans la superficie cultivée, les exploitants agricoles préfèrent obtenir de l'argent grâce à la location de certaines de leurs terres. Hormis les besoins quotidiens du ménage, il ya également les obligations sociales qui, souvent, sont les causes d'endettement des exploitants. Avec une production agricole incertaine, les seuls gages restent la terre. (ii) La location en nature avec une contribution du propriétaire. Selon le contrat, la part du propriétaire dans les activités consiste en l'octroi de la semence et/ou en accomplissement de certaines activités agricoles notamment le travail de sol. Quant à la récolte, elle est divisée en deux parts égales. La plupart des exploitants du type 3 pratiquent ce type de contrat et louent leurs parcelles à d'autres. (III) la location en nature sans contribution du propriétaire. Contrairement au précédent type de contrat, le propriétaire ne fournit ni semences, ni contribue à aucune activité de culture. A la récolte, le tiers de la récolte lui revient. Les exploitants du type 2 sont ceux qui s'engagent le plus à ce type de location. Les moyens dont ils ont à leur disposition leur permettent de cultiver la plupart de leurs parcelles, mais faute de temps et de moyens, ils sont souvent contraints de louer certaines de leurs parcelles notamment celles qui se trouvent sur des terroirs non irrigués. Ainsi, les exploitations de petite taille tendent à être de plus en plus dépendantes des autres types, voire à une cession de leur parcelles au profit des types d'exploitation de grande taille.

Conclusion

La perception paysanne du changement climatique dépend de la situation dans laquelle ils se trouvent. Les notions de vulnérabilité, de bonne ou mauvaise saisons varient alors selon les caractéristiques de chaque exploitation agricole. Les exploitants dont la majorité des parcelles se trouvent en milieu basse (RBL) perçoivent une bonne saison comme une saison avec moins de pluies, de peur que leurs cultures ne soient ravagées par la montée des eaux du lac. Ils sont plus vulnérables à l'inondation qu'à la sécheresse. Tandis que pour les paysans dont les cultures dépendent de l'arrivée des pluies, c'est-à-dire ceux dont les parcelles n'ont pas accès à l'irrigation (Rizière haute et *Baiboho*) ou sont sur les hauteurs (les *Tanety*), ils sont plus vulnérables à un raccourcissement de la période de pluie. Ainsi, la notion de bonne saison culturelle se perçoit pour eux comme une abondante saison de pluie qui s'étend sur 6 mois (du mois d'Octobre au mois de Mars). Toutefois, un point commun les rassemble : tous ont noté une tendance à la diminution de période de pluies. Face à cette situation, la grande majorité des paysans prennent des mesures ou risques considérés connus sous l'appellation de stratégies paysannes d'adaptation. Toute décision de mode de production est considérée comme une solution aux problèmes auxquels chaque ménage est confronté. Chaque mode de fonctionnement est donc considéré comme un type d'adaptation à la combinaison de plusieurs contraintes (économique, moyens techniques, taille de la famille, financière, etc....). Seulement, leurs décisions dépendent surtout de leurs objectifs à court et à long termes⁹ et sont fonction de facteurs sociaux, psychologiques et économiques ainsi que des préférences individuelles et des perceptions. Les modes de production agricole subissent de profondes mutations qui influent sur la structure économique des exploitations. À la recherche de gains de productivité, les exploitations s'agrandissent et se spécialisent. Elles recourent de plus en plus à des intrants (semences certifiées, matériel, mais aussi fertilisants, pesticides, ressources en eau, énergie). Ainsi les consommations intermédiaires représentent une part grandissante de la production agricole. Cette tendance accentue la dépendance des exploitations aux marchés des intrants, en particulier des engrais.

⁹ Les paysans ont tous une vision en tête et ceci dépend notamment de la situation économique à laquelle ils vivent. Généralement, les paysans ayant un faible revenu et une faible récolte ne pense qu'aux moyens de subvenir à leurs besoins (objectif à court terme), tandis que ceux dont le souci n'est plus la survie, leurs objectifs change plutôt en comment maintenir la situation à laquelle ils vivent, et à engranger beaucoup plus d'épargne.

Références Bibliographiques

- Andrianjanaka, F., 2007. Etude des séries évolutives des systèmes agraires en relation avec les changements climatiques dans la région d'Ambatondrazaka: Cas de Marololo, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, 84 pp.
- Blanc-Pamard, C., 1987. Systèmes de production paysans et modèle rizicole intensif : deux systèmes en décalage L'exemple des riziculteurs de la SOMALAC sur les Hautes Terres centrales de Madagascar. Cah. Science. Humaine 23(3-4), 507-531.
- Boserup, E., 1981. Population Pressure and Technological Change: A Study of Long- Term Trends. . University of Chicago Press, Chicago.
- Boserup, E., 1985. Economic and Demographic Interrelationships in sub-Saharan Africa. Population and Development Review 11(No. 3), 383-397.
- Brugere, C., Lingard, J., 2003. Irrigation deficits and farmers' vulnerability in Southern India. Agricultural Systems 77 65-88.
- D'Orgeval, T., 2008. Impact du changement climatique sur la saison des pluies en Afrique de l'Ouest : que nous disent les modèles de climat actuels ? Sécheresse 19(2), 79-85.
- English, M.J., Solomon, K.H., Hoffman, G.J., 2002. A Paradigm Shift in Irrigation Management. Journal of irrigation and drainage engineering, 267-277.
- Guibert H., A.U.C., Dimon R., Dedehouanou H., Vissoh P.V., Vodouhé S.D., Tossou C., Agbossou E.K.. 2010. Correspondances entre savoirs locaux et scientifiques : perceptions des changements climatiques et adaptations. Étude en région cotonnière du nord du Bénin. In: C. Emilie., D. Hubert, S. Christophe, H. Bernard (Eds.), International symposium ISDA 2010. Innovation et sustainable development in agriculture and food : Abstracts and papers.
- López, S., Sierra, R., 2011. A resource demand model of indigenous production: The Jivaroan cultivation systems of Western Amazonia. Agricultural Systems 104, 246–257.
- Mamodjée, S.H., 2007. Analyse de la filière tomates en vue d'amélioration de la commercialisation: cas de la zone d'Ambatondrazaka. , Antananarivo, Antananarivo, 49 pp.

- Minten, B., Randrianarisoa, J.C., Randrianarison, L., 2003. Agriculture, Pauvreté rurale et Politiques Economiques à Madagascar, Working paper Ilo program Cornell. University/INSTAT/FOFIFA.
- Netting, R.M., 1993. Smallholders, householders: families and the ecology of intensive, sustainable agriculture. University of Stanford Press,, Stanford.
- Penot, E., 2009. Des savoirs aux savoirs faire : l'innovation alimente un front pionner : le lac Alaotra de 1897 à nos jours.
- Rakotondrazafy, H., 2007. Amélioration du système de commercialisation de la filière pomme de Terre sous couverture végétale de la zone d'intervention du projet BVLAC Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Razafimbelo, C., 1984. L'agriculture en Antsihanaka de 1820 à 1930. Contribution à l'histoire des Sociétés rurales Malgache. , Université de Paris VII, 404 pp.
- T.J. de Koeijer, G.A.A.W., M.K. van Ittersum, P.C. Struik,J.A. Renkema 1999. A conceptual model for analysing input-output coefficients in arable farming systems: from diagnosis towards design. Agricultural Systems 61, 33-44.
- Thornton, P.K., van de Steeg J. , A., Notenbaert, M.H., 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. Agricultural Systems 101 113-127.
- Turner, B.L., Ali, A.M.S., 1996. Induced intensification: Agricultural change in Bangladesh with implications for Malthus and Boserup. Proc. Natl. Academy. Science 93, 14984–14991.
- UPDR, 2003. Monographie de la région d'Ambatondrazaka. Ministère de l'agriculture , de l'élevage et de la pêche, Antananarivo.
- Viviane, R.M., 2007. Caractérisation des exploitations agricoles sur le périmètre irrigué PC 15 Vallée Marianina (Cas des Mailllles 11/12), Univerité de Toamasina, Toamasina.

Chapitre V - SEAA : Description du système agricole de la région du lac Alaotra (Madagascar) et analyse des scénarios avec changements climatique et démographique

Abstract

The present study examines the option for a better allocation of resources and agricultural production in the rice basin of Alaotra Madagascar with the changes in rainfall and in demographic. SEAA model was elaborate to describe reality and to explore changes that can be induced by the two factors. First, the analysis explores the mechanism of rural livelihood in the region (way of thinking, objectives of the different exploitations). Second, the study investigates the relation between labor allocation, gross margin, and rice production at farm scale through socio-economic survey and an integration of geographic information systems. The study shows that on the one hand, cultivation practices and land use mostly depend on demographic and climatic factors, and, on the other hand, the production is associated to technological constraints and environmental. Two groups of indicators are considered for the identification of the sensitivity. Indicators of production are sensitive to climatic factors, and management indicators are sensitive to demographic. Also, small farms are sensitive to both of the two factors and medium and large farms are sensitive to climate change.

Résumé

La présente étude explore les options pour une meilleure gestion des ressources en vue d'optimiser la production agricole face aux changements climatique et démographique. Le modèle SEAA a été développé pour cela et consiste en premier lieu à reproduire le mode de gestion des ressources disponibles actuellement de la région. Il a ensuite été programmé dans le but de simuler des scénarii avec changement climatique et/ou démographique à l'échelle de la localité et celle de l'exploitation agricole. Différents indicateurs ont été considérés pour l'identification de la sensibilité. Ils ont été groupés dans deux catégories d'indicateurs : les indicateurs de production qui sont sensibles aux facteurs climatiques, et les indicateurs de gestion, sensibles aux facteurs démographiques. Par ailleurs, les petites exploitations sont sensibles à la fois aux facteurs démographiques et climatique. Les moyennes et grandes exploitations sont sensibles au changement climatique.

Introduction

Opter pour un développement agricole durable requiert l'étude du système agricole à différentes échelles : régionale, locale et à l'échelle de l'exploitation (Vincent, 2007). A l'échelle de cette dernière, l'insuffisance des ressources oblige les paysans à gérer différemment leurs parcelles (Giller K. E. , 2006; Van Wijk M. T., 2009), et parfois, peut induire à une gestion non durable, c'est-à-dire à un système de survie ou à la production de subsistance seulement (Shepherd K.D., 1998). Par ailleurs, l'autosuffisance alimentaire est un critère discriminant essentiel et vital dans la vie des ménages ruraux (Sahlin, 1972). En effet, l'une des principales préoccupations des exploitants agricoles Malagasy est de produire suffisamment de riz, l'aliment de base de la population, pour la consommation du ménage, et pouvoir disposer de surplus de production pour assurer la prochaine saison culturale et pour pouvoir s'enrichir. Pourtant, la disposition de reliquat dépend à la fois des moyens à disposition, notamment de terres (la ressource en parcelle cultivée), mais également des interactions entre les différentes composantes du système. Aussi, chaque mode de fonctionnement est-il considéré comme un type d'adaptation à la combinaison de plusieurs contraintes (économique, moyens techniques, taille de la famille, financière, etc.) (Bontkes T.S., 2003). Cette partie de l'étude est menée dans le but de déterminer le comportement de différentes exploitations situées dans la région du lac Alaotra (Madagascar), et les options afin de pouvoir optimiser la production agricole à partir de la combinaison de différentes activités issues des enquêtes menées dans quatre localités de cette région.

Par ailleurs, dans le but de trouver un modèle qui inclut à la fois l'aspect économique et l'aspect biophysique, (Brown, 2000) a classifié différentes approches et les a situées sur une ligne à deux extrémités appelée 'la continuité d'un modèle bioéconomique. L'une des extrémités est basée sur un modèle biophysique auquel s'ajoute une variation économique, tandis que l'autre est basé sur l'optimisation économique qui inclut des variables biophysiques. Des études ont montré les intérêts et l'utilisation de ces deux types de modèle. (Wijk *et al.*, 2009) par exemple ont développé le premier type de modèle en se focalisant sur la productivité biophysique incluant l'utilisation de la main d'œuvre comme à la fois ressource et contrainte dans les activités culturales. Par contre, d'autres études s'intègrent au second type de modèle, à l'exemple de la programmation linéaire de multiple objectifs qui, par des fonctions linéaires, représente les relations entre l'économie et la variation des facteurs biophysiques, (Castelan-Ortega *et al.*, 2003; Vrugt *et al.*, 2003; Tittone *et al.*, 2007) , Lopez-Ridaura, 2005). Cette étude entre dans cette dernière catégorie, en se focalisant sur l'aspect économique de la production tout en incluant les aspects biophysiques (notamment la disponibilité de terre et le climat), social (le changement démographique) et en considérant la quantité de travail disponible comme facteur principal de la variabilité. L'outil de modélisation aide à comprendre à la fois le

fonctionnement du système d'exploitation et l'identification des meilleures options pour un développement agricole en tenant compte de divers aspects et contraintes (Wijk *et al.*, 2009). Deux solutions sont généralement proposées pour augmenter la production agricole : l'augmentation de la superficie cultivée et/ ou le changement de pratiques agricoles. Le modèle développé dans cette étude intègre les deux aspects pour une meilleure gestion des ressources. D'un côté, il permet de comprendre le mode de fonctionnement des exploitations agricoles de la région du Lac Alaotra à partir d'une simulation de plusieurs situations, ainsi que les objectifs de chaque exploitation. De l'autre, il permet de suivre l'évolution des indicateurs à partir d'un paramètre donné (eg. production agricole en fonction de la disponibilité de la surface cultivée, et la quantité de main d'œuvre fournie). Toutefois, la complexité du modèle dans la programmation et dans les variables d'entrée peut être considérée à la fois comme un atout et comme une limite d'un modèle (Van Keulen, 1995). Un atout, du point de vue que toutes les variables sont considérées comme ayant une influence directe ou indirecte sur un résultat donné. Il permet également d'expliquer une situation donnée (eg. la situation réelle) à travers la combinaison de plusieurs explications. Autrement dit, l'explication d'un résultat donné peut être interprétée selon plusieurs angles de vue¹⁰. Une limite au modèle, dans le cas où la robustesse du modèle dépend du nombre de variables présentées. Aussi robuste que soit un modèle, son utilisation est limitée par le nombre de variables requises et par le nombre de variables à disposition de celui qui compte l'utiliser. Les données du modèle sont inspirées du formulaire de NUANCES- FARMSIM (Tittone *et al.*, 2005).

En outre, l'efficacité de l'agriculture se mesure par l'augmentation des extrants (ex : la production rizicole) par unité d'intrant (Laney, 2002; Keys and McConnell, 2005). Pourtant, une intensification agricole est étroitement liée aux facteurs environnementaux et aux progrès technologiques (Turner and Ali, 1996). Etant donnée que dans certaines régions du monde, où l'accès à la technologie est limitée par son coût élevé ou par le manque de diffusion, la production est alors essentiellement associée aux facteurs démographiques et aux conditions écologiques du milieu (Santiago. and Sierra, 2011). Aussi, augmenter les intrants en agriculture (ex : quantité de main d'œuvre utilisée) peut induire à un ralentissement, voire à une diminution des valeurs extrants (Keys and McConnell, 2005).

L'objectif de cette étude vise à optimiser les valeurs des extrants en fonction de minimum d'intrants disponibles. Le minimum d'intrants se réfèrent à la fois au coût de la production et à un minimum de travail fourni. Pour cela, la première étape consiste à établir un modèle qui simule le fonctionnement du système agricole à différents niveaux (exploitations agricoles, locale et régionale), la seconde étape vise à valider ce modèle avec la situation réelle, et la troisième étape consiste à prédire l'évolution d'un indicateur (ex : la marge brute) en fonction de changement climatique et démographique.

¹⁰ Les angles de vues sont définis par le nombre de variables explicatives à l'entrée du modèle.

II- Matériels et méthodes.

II.1- Description du modèle

Simulation des Exploitations Agricoles de l'Alaotra (SEAA) est un modèle développé sur GAMS 23.3 à partir d'une programmation linéaire de multiples objectifs dont le but est d'optimiser les valeurs des extrants (eg. production rizicole, la marge brute). Il permet de simuler des décisions sur les pratiques agricoles pertinentes et la gestion des ressources (gestions des terroirs et des travaux agricoles) à différentes échelles (exploitation agricole, localité et régionale). Il consiste également à trouver le mode de gestion des ressources et les innovations techniques qui répondent le mieux aux différentes contraintes (les contraintes considérées dans le modèle sont la pression démographique et les aléas climatiques) en vue d'augmenter la productivité (Figure 5-1a). Par ailleurs, la gestion des ressources inclut différentes interactions entre les composants du système (Figure 5-1b). A chaque type de décision correspond un mode de gestion des ressources (mode d'occupation des sols, quantité d'intrants agricoles et d'extrants). Le modèle développé dans cette étude se focalise sur la gestion des ressources en fonction de la ressource humaine, et plus précisément sur la disponibilité de la main d'œuvre. Le principe part du fait qu'une des ressources principales de l'agriculture est la terre. La superficie cultivable varie d'une localité à une autre. Une localité peut être composée de plusieurs terroirs ou étages écologiques (Figure 5-2), dont la productivité de chaque étage est différente. Pour pouvoir exploiter une surface donnée, il faut une quantité de main d'œuvre donnée. Pour chaque variation de main d'œuvre utilisée, l'utilisation des terres, c'est-à-dire la distribution des cultures suivant les surfaces cultivées, varie également ainsi que les pratiques agricoles utilisées (variétés de cultures, d'outillages utilisés, mode de semis, quantité d'intrant utilisée).

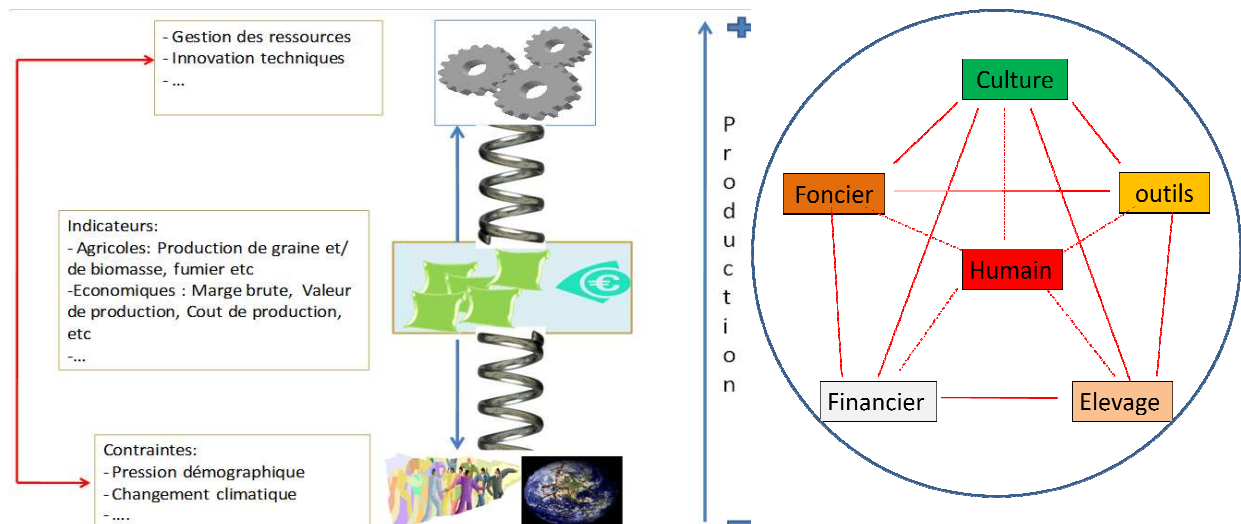


Figure 5-1: (a) Fonctionnement de SEAA et ses composants, (b) les interactions entre les différentes ressources du système.

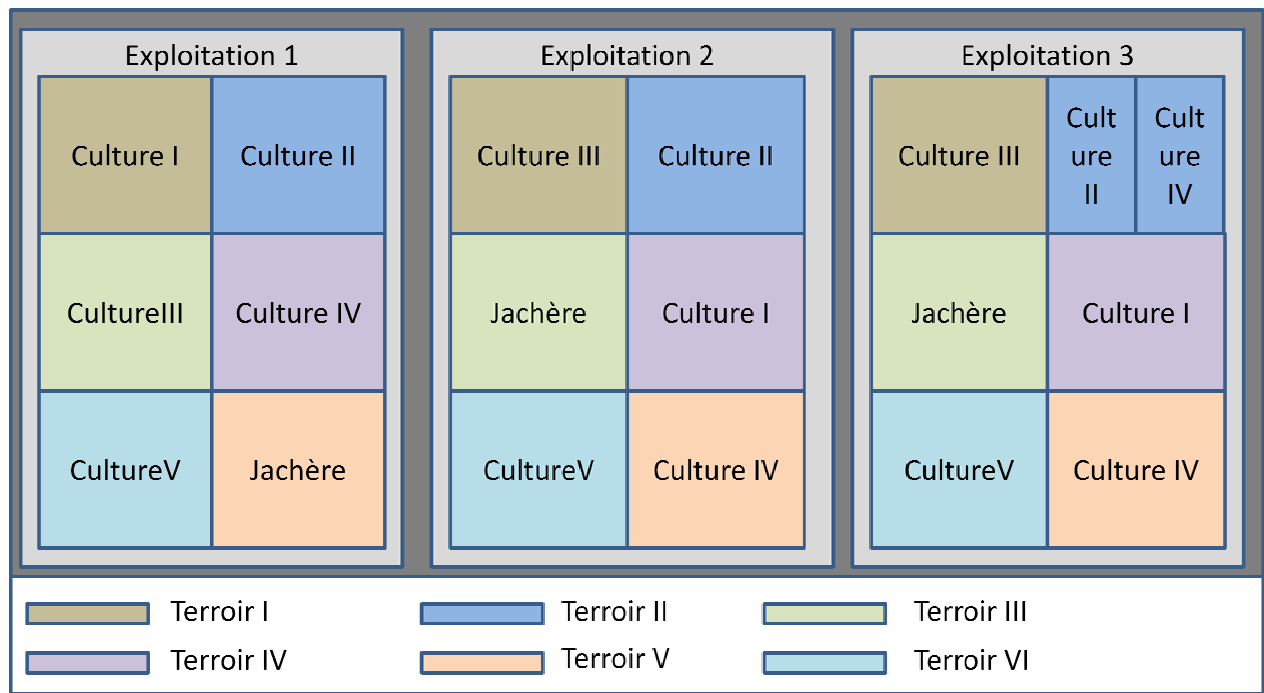


Figure 5-2: Différents modes de gestion des terroirs de trois types d'exploitations

II.2- Approche générale

L'approche générale de ce modèle se divise en trois étapes : (i) la première étape se focalise sur l'établissement du modèle. A partir des données issues des enquêtes, cela consiste à programmer le modèle et à simuler des scénarii en vue de trouver le modèle qui correspond le plus à la réalité. La comparaison est basée sur le mode d'occupation des sols. Une des résultats du modèle est la variation des cultures mises en place en fonction des objectifs et contraintes considérées. Le modèle prédit l'occupation des sols en fonction de la surface et de la quantité de main d'œuvre disponibles dans chaque localité. Le but de la première étape est, d'un côté, de reproduire l'occupation des sols les plus similaires à la réalité (l'identification des surfaces les plus voisines, et la comparaison des allocations des ressources correspondant) et, de l'autre, de déterminer la position de chaque exploitation par rapport à plusieurs simulations d'objectifs (ex : la maximisation de la production rizicole, maximisation de la marge brute...). (ii) La seconde étape consiste à valider le modèle, c'est-à-dire à décrire le modèle qui correspond le plus à la réalité et à expliquer la différence entre la réalité et le simulé. (iii) La troisième étape est de simuler l'évolution des différents objectifs en fonction de la variation climatique (plus précisément d'un raccourcissement de la période de pluie) et du changement démographique.

II.3- Etablissement du modèle

Deux types de données ont été introduits dans le modèle : les coefficients techniques et les valeurs correspondant à la réalité. Les coefficients techniques sont la traduction des résultats d'enquête à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation. Tandis que les valeurs correspondant à la réalité définissent les ressources disponibles à l'échelle de l'exploitation,

de la localité et de la région. Pour cela, différents facteurs ont été regroupés dans des catégories de variables de sorte que chaque variable rassemble le plus d'informations possibles.

II.3.1- Les coefficients techniques

Les coefficients techniques sont l'ensemble des variables associées aux systèmes de culture. Ils sont établis à partir des valeurs issues de 103 exploitations agricoles réparties sur quatre localités représentatives de la région du Lac Alaotra. Ils représentent la gestion des ressources au niveau parcellaire. Toutes les données sont mises dans un tableau de manière à ce que chaque « activité »¹¹ soit représentée sur une ligne. Toute référence « variable explicative ou qualitative » pouvant induire à un résultat a été catégorisée dans les colonnes de variables (Tableau 5-1). Tandis que les valeurs réelles « variables quantitatives » issues des enquêtes sont mises dans des colonnes de valeur (Tableau 5-2).

II.3.1.1-Les variables qualitatives

II.3.1.1.1-La variable Unité de Terre

Cette variable est la combinaison de la localisation (Loc) et des types de terroir (LT). La localisation permet de déterminer la variabilité régionale d'un indicateur de production, tandis que les terroirs définissent celle qui est à l'intérieure de chaque localité. Quatre localités ont été considérées dans cette étude : Ambatosoratra (Amb), Amparihintsoakatra (Amp), Tanambe (Tan), Vohitsara (Voh). Six types de terroirs ou étages écologique existent dans la région du Lac Alaotra, les rizières Basses (RB) qui sont également appelée rizières de bonne maîtrise d'eau, les rizières Hautes (RH) ou rizières à mauvaise maîtrise d'eau ; les *Baiboho* (Bb) qui sont généralement des bourrelets de berge, les rizières de bas fonds (RBF) situées sur les vallons, et les *Tanety* (Tan) qui sont situés sur les collines.

II.3.1.1.2-Les activités culturelles

Cette variable regroupe les types de cultures, le type d'outillage utilisé et le mode de semis. Parmi les cultures identifiées sur place, un critère a été choisi pour les mettre dans les coefficients techniques. Toutes les cultures occupant une superficie supérieure à 1 ha pour l'ensemble de la région, soit 2‰ de la surface cultivée, ont été considérées dans le coefficient technique¹². Par contre, les cultures s'étalant sur un total inférieur à 1 ha (pour l'ensemble des quatre localités) ont été considérées comme cultures de choix personnel des exploitants et n'ont pas été introduites dans le modèle.

Le type d'outillage utilisé est catégorisé en deux : l'outillage motorisé utilisant des motoculteurs et/ou des tracteurs et l'attelé utilisant des charrues¹³.

¹¹ Une activité ici est la combinaison des activités culturelles.

¹² Les cultures qui n'ont pas été introduites dans le modèle sont Vigna subteranea (0.65ha), Concombre (0.55ha), Niébé (0.37ha), Angivy (0.30ha), Brède (0.26ha), Tabac (0.10ha).

¹³ L'outillage manuel a été inclus dans cette dernière catégorie du fait qu'il représente moins de 0, 5% des exploitations et est utilisé seulement sur les Tanety.

Trois types de semis ont été recensés pour tous les types de culture : le semis en poquet (Poq), le semis avec repiquage (Rep) et le semis à la volée (Vol).

Les activités culturales présentent à la fois la diversité de cultures et les pratiques culturales associées, et permet de comprendre l'effet des pratiques une fois combinées avec le type de terroir.

II.3.1.2- Les variables quantitatives

Dans l'établissement de valeurs des coefficients techniques, des variables quantitatives ont été introduites dans le modèle pour pouvoir expliquer la variation de chaque paramètre (Tab2). Elles sont divisées en trois grandes parties :

II.3.1.2.1-Le système de culture

Il regroupe (i) la quantité de main d'œuvre requise pour chaque activité culturale dont le travail des sols (labour et roue-cage), la canalisation des parcelles, le décapage ou l'enlèvement des mauvaises herbes avant le labour, le semis, le repiquage, le désherbage 1 et 2 (après le semis), la coupe, la mise en meule et le battage.(ii)la quantité de semence, (iii) la quantité de fertilisants organique et minéral et(iv) la quantité de pesticides. La quantité de main d'œuvre permet comprendre la raison du choix de la combinaison issue du modèle en fonction d'un objectif donné. En effet, le mode d'utilisation des terres varie selon les ressources disponibles (notamment de la disponibilité du travail), des objectifs, et d'autres paramètres comme les contraintes. Le reste permet de quantifier les semences, les fertilisants et les pesticides requis pour la combinaison des activités.

II.3.1.2.2-La saison

Elle définit la quantité de main d'œuvre utilisée par mois pour chaque activité. Elle est obtenue à partir de la combinaison des activités culturales et les mois, et, plus précisément, de la fréquence de parcelles ayant eu une activité culturale pendant les mois et la quantité de MO requise par activité. Elle permet de déterminer la distribution de la demande mensuelle en main d'œuvre suivant les différentes activités culturales ainsi que de pouvoir contrôler les excédents de la demande selon la réalité, c'est- à dire qu'à un moment où l'offre est inférieure à la demande, il peut y avoir des points de concentration de l'utilisation de la main d'œuvre.

II.3.1.2.3-Le système économique

Il regroupe les différents coûts de production¹⁴, les prix de la récolte (minimale, moyenne, et maximale, suivant la loi de l'offre et de la demande) et les indicateurs, le total de main d'œuvre requise par activité (Tlab), le total du coût de production (CP), la marge brute (MB), la valeur de production (VP) et la production rizicole (RY). L'intérêt est de pouvoir suivre l'évolution des paramètres en fonction du mode d'usage des terres, et de déterminer l'objectif de chaque localité ou de chaque type d'exploitation. Par exemple, pour un objectif

¹⁴ Le coût de production est la somme des coûts de la main d'œuvre, de la semance, de fertilisants et des pesticides.

de sécurité alimentaire, le paramètre de production rizicole peut être considéré à la fois comme variable et comme contrainte.

✓ Valeur de production

La Valeur de production est la somme des prix des récoltes. Par rapport à la marge brute, elle reflète plutôt un objectif de quantité de rendement que de gain net de production.

$$VP = \sum Y_i P_i$$

Y_i est la récolte de chaque culture et P_i est le prix de chaque culture ;

✓ Coût de production

Le coût de production est la somme des coûts liés à la production. Dans notre cas, il est égal à la somme des coûts des travaux agricoles, des fertilisants organiques et minéraux, des pesticides et des semences utilisés.

$$CP = \sum Tlab_P + Seed_P + Fert_P + Pest_P.^{15}$$

✓ Marge brute

La marge brute est déduite de la différence entre la valeur de la production et le coût de la production.

$$MB = VP - CP$$

D'un côté, l'évolution de la marge brute signifie une évolution de l'utilisation des terres. En effet, avec la même utilisation des terres, la MB n'est plus dépendante que de la disponibilité de la MO. L'équation est de type

$$MB = \sum Y . P - \sum (Seed_P + Fert_P + Pest_P) - \sum MO_i . P$$

De l'autre côté, cette MB dépend également de la distribution des superficies cultivées sur les différents terroirs. On assiste à un mode d'utilisation différente des terres dans les localités. Le modèle choisit la culture la plus rentable à chaque échelle de la MO. L'équation devient ainsi

$$MB = \sum VP_i - \sum CP_i$$

✓ Production rizicole

La production rizicole permet de connaître le potentiel de production en riz des quatre localités. Notons que cette fonction exclue la notion économique de la marge brute, ainsi que le potentiel de productivité de chaque terroir.

✓ La main d'oeuvre

La demande en main d'œuvre ($Tlab$) est fonction de la surface disponible et de l'activité à effectuer, et est égale à la somme de travail requis par culture pendant une saison donnée multipliée par la surface occupée par cette culture. Le travail est égal à la somme des mains d'œuvre (MO) par activités « i » de culture par unité de surface, « i » variant de 1 à « n »

¹⁵ Coût total du labour ($Tlab_P$) ; coût de semence ($Seed_P$) ; coût des fertilisants ($Fert_P$) ; coût des pesticides ($Pest_P$)

selon le nombre d'activités. Dans notre cas « i » est égale à 11 et est défini dans « crop activities » du (Tableau 5-1).

¹⁶. Notons que la MO est en homme-jour par hectare.

$$T_{Lab} = lab_1.S_1 + lab_2.S_2 + lab_3.S_3 + \dots + lab_n.S_n.$$

$$\text{Avec } lab = \sum Mo_i$$

Hormis le prix de la récolte, les valeurs introduites correspondant aux variables quantitatives pour chaque activité dans le modèle sont des moyennes des valeurs issues des enquêtes.

Tableau 5-1 : Tableau des variables qualitatives des coefficients techniques

Critère de Définition	Acronyme	Description	Nombre de Variables
UNITE DE TERRE			
LOCALITE	Loc	Définit les localités où l'étude a été réalisée (dans cette étude quatre localités ont été considérées correspondant chacun à un groupement de villages ou fokontany)	4
TERROIRS	LT	Définit les étages écologiques existant et correspond généralement aux différents types de sols.	6
ACTIVITE CULTURALE			
CULTURE	CVar	Définit les variétés de cultures existant dans la région.	12
EQUIPEMENT	Tools	Définit les types d'outillage utilisés	2
TYPE de SEMIS	Seed	Définit le mode de semis utilisé	3

Tableau 5-2: Tableau des variables quantitatives

Critère de Définition	Unité	Description	Nombre de Variables
-----------------------	-------	-------------	---------------------

¹⁶ Rappelons que les activités sont les préparations du sol (labour et roue-cage) , décapage, semis, repiquage, canalisation, désherbage (1 et 2) la collecte, l'assemblage ou mise en meule, et le battage ou décorticage des grains.

Systeme de culture				
Activités culturales	hj.ha ⁻¹	Définit la quantité de main d'œuvre utilisée pour toutes les activités culturales réalisées au cours d'une saison		11
Semence	kg.ha ⁻¹	Définit la quantité de semences utilisée		1
Fertilisation	kg.ha ⁻¹	Définit la quantité de fertilisation organique ou minérale utilisée		3
Pesticides	kg.ha ⁻¹	La quantité de pesticides utilisée durant une saison		2
Saison				
Mois	hj.ha ⁻¹	La répartition de la main d'œuvre au cours d'une saison		12
Système économique				
Coût de production	Ar.ha ⁻¹	Définit les différents coûts liés à la production		4
Prix des récoltes	Ar.kg ⁻¹	Définit la variation des prix de la récolte au cours d'une année.		3
Indicateurs	hj	Définit les indicateurs liés aux objectifs.		6

II.3.2- Les valeurs correspondant à la réalité

Cette variable regroupe la surface disponible, la main d'œuvre disponible et la demande en riz. Elle est élaborée en fonction de la réalité.

II.3.1.1- La surface disponible

Elle représente la disponibilité des terres selon le terroir et la localité étudiés. Les valeurs sont issues des enquêtes menées auprès des responsables administratifs confrontés avec un travail de cartographie. Cette variable peut être traduite à la fois comme une réalité et une contrainte : réalité, dans le sens où le modèle tire de cette surface la disponibilité des terres (superficie cultivable de chaque terroir), et contrainte, dans le sens où l'utilisation des surfaces peut être traduite comme un seuil (min ou max) dans le modèle, c'est-à-dire que le modèle génère une combinaison de l'utilisation des terres sans pour autant dépasser le seuil. Dans notre cas, étant donné que les coefficients techniques incluent la jachère, la surface utilisée est égale à la surface disponible et est représenté par l'équation :

$$\text{Surface disponible} = \text{surface cultivée} + \text{surface jachère}$$

II.3.1.2- Main d'œuvre disponible

La variation de la surface cultivée dépend de la disponibilité de la main d'œuvre. En effet, pour une activité donnée, il y a un minimum de travail requis qu'on appelle également main d'œuvre utile. Les paramètres de production et du mode de gestion des terres varient selon cette disponibilité de la main d'œuvre, c'est-à-dire que la combinaison des activités dépend de la quantité de travail disponible. Les valeurs de la main d'œuvre disponibles sont calculées à partir de la moyenne du nombre d'actifs par famille (cf. chap1) du nombre de familles dans chaque localité et du nombre de jour (J) de travail durant une saison. Elles font partie des contraintes dans le sens où elles sont considérées comme seuil maximal de main d'œuvre utilisée (développé ultérieurement). Le nombre de jours ouvrables est calculé à partir de la moyenne de cinq jours par semaine durant six mois.

$$\text{Main d'œuvre disponible} = \text{nombre de familles} \times \text{nombre moyen d'actifs par famille} \times \text{Jours de travail}$$

II.3.1.3- La demande en riz

La demande en riz est définie par la quantité minimum de riz dont chaque localité a besoin pour nourrir sa population (la sécurité alimentaire).

La quantité de riz minimum est définie par l'équation :

$$\text{Riz (kg)} = \text{Nombre total de la population} \times \text{consommation annuelle de riz par personne.}$$

II.3.3- Les données en sorties du modèle

Les valeurs en sorties sont en fonction du nombre de ressources utilisées dans le modèle. Pour chaque quantité de MO utilisée, le modèle optimise la valeur d'un objectif par le biais d'une combinaison du mode d'occupation des sols. Aussi, donne-t-il les allocations des ressources. En terme de foncier et de culture, on obtient l'utilisation des sols dont (i) la superficie cultivée et la surface en jachère, (ii) la distribution des cultures sur les surfaces cultivées et leur variété, (iii) la quantité de semence utilisée, et (iv) le mode de semis de chaque culture.

En terme de ressources humaines, (i) la quantité de main d'œuvre utilisée (total MO), (ii) et la distribution mensuelle des MO (la répartition du Total MO pour une saison culturale).

En terme de ressources financières : (i) la somme dépensée et (ii) la somme obtenue pendant une saison

En élevage : (i) le nombre de bovins utilisés, (ii) la quantité de fumier utilisée.

Il y a également la quantité de fertilisants utilisés dont l'urée et le NPK, ainsi que le type d'outillage utilisé pour chaque culture

II.3.4-Choix de l'axe

Des études montrent que l'effet de l'évolution démographique affecte le mode d'occupation des sols ainsi que la demande en main d'œuvre dans la conquête de terres cultivables (Tilman *et al.*, 2002; López and Sierra, 2011). La superficie cultivée et leur distribution sur les différents terroirs dépendent des moyens financiers et des moyens humains. Pourtant les moyens financiers alloués à l'agriculture varient selon les exploitations car ils dépendent de diverses obligations (ex : sociales). La surface réelle étant connue, la superficie cultivée ainsi que l'occupation des sols dépendent de la quantité de travail fourni (de la main d'œuvre disponible) ; le seul variable pouvant influencer sur l'évolution des indicateurs et d'autres paramètres ne dépend ainsi que de la quantité de main d'œuvre utilisée. Aussi, toutes les figures sont en fonction de cette variable.

II.4- Programmation du modèle

II.4.1-Utilisation des coefficients techniques

Le tableau de coefficients techniques sert de base de données pour le modèle. Chaque combinaison établie dans le tableau des coefficients techniques définit une « activité » (Figure 5-3). Par exemple, une activité est décrite par une culture de riz à cycle court pratiquée sur des *Tanety*, semis en poquet, et nécessitant l'utilisation d'outils animal dans la localité d'Ambatosoratra. Le nombre d'activités possibles introduites dans le modèle est défini par l'équation :

$\text{Activités} = \text{Localité} \times \text{Terroir} \times \text{Type de culture} \times \text{Equipement} \times \text{Mode de semis.}$
--

Pour une saison, le nombre d'activités recensées pour toute la région est de 1728.

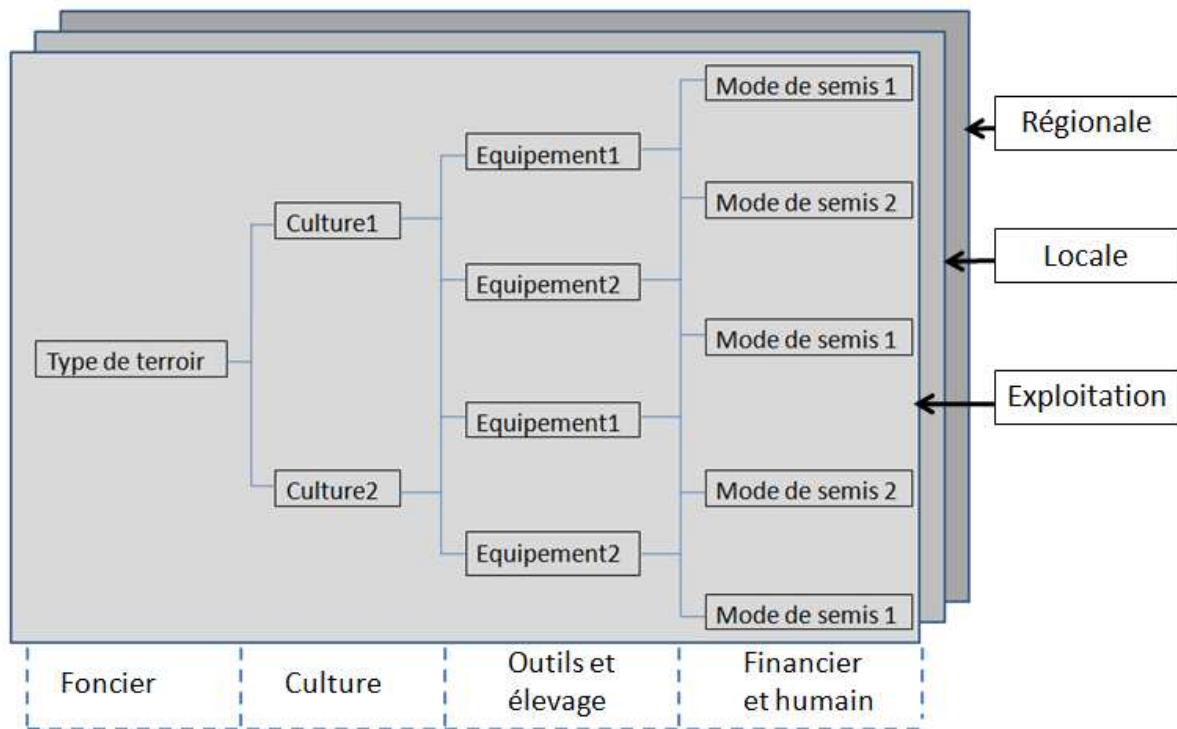


Figure 5-3 : Schéma de la traduction des interactions des différents composants d'un système dans un tableau de coefficients techniques.

Le nombre 1 et 2 définit la possibilité de plusieurs types de variables. Une combinaison définit une activité culturelle. La répartition des parcelles sur les différents types de terroir varie d'une exploitation à l'autre.

II.4.2-Définir les objectifs dans le modèle

L'allocation des ressources varie suivant les objectifs. Les cinq indicateurs ont été traduits en objectifs. La marge brute en maximisation de la marge brute (Max MB), la valeur de production en maximisation de la valeur de production (Max VP), la production rizicole en maximisation de la production rizicole (Max RY), le coût de la production en minimisation du coût de production (Min CP) et l'utilisation de la main d'œuvre en maximisation de la main d'œuvre (Max TLab) (Figure 5-4).

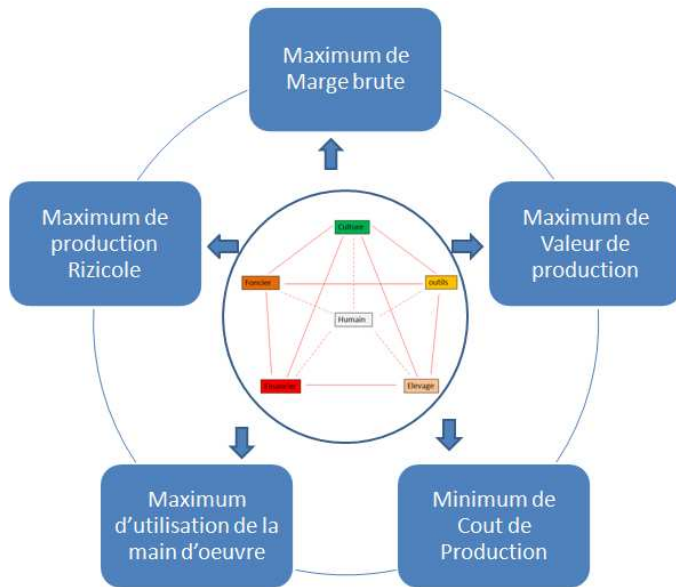


Figure 5-4: Gestion des ressources dans un modèle de programmation linéaire à plusieurs objectifs

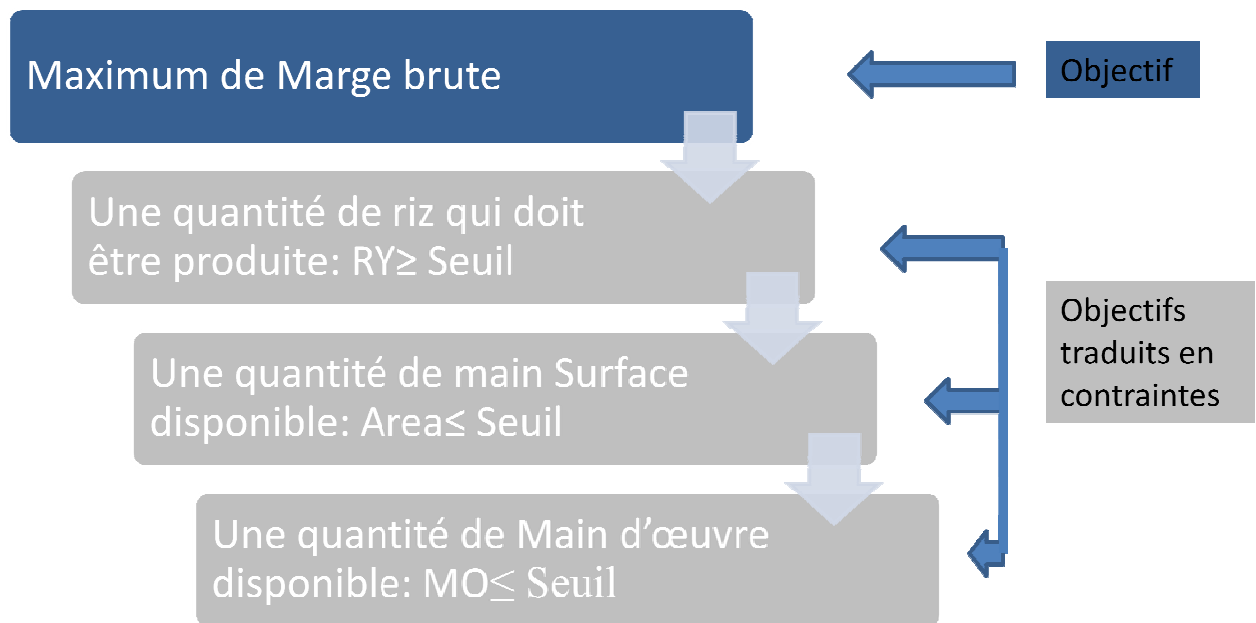


Figure 5-5 : Schéma d'un modèle à plusieurs objectifs et la traduction de certains d'entre eux en variables contrôlables.

L'objectif varie selon le nombre d'indicateurs dans le coefficient technique, et les objectifs traduits en contraintes devraient tenir compte des valeurs de la réalité.

II.4.3- Un modèle à plusieurs objectifs

II.4.3.1- Quand un objectif devient-il une contrainte ?

Un objectif est par définition le cible ou résultat à atteindre et une contrainte est un acte ayant une force exécutoire ou une force agissant sur quelqu'un ou quelque chose (Larousse). Dans la programmation du modèle, il ne peut y avoir qu'un objectif, aussi, pour obtenir un modèle avec plusieurs objectifs, les autres sont traduits en « contraintes » ou plus précisément en variables qu'on peut contrôler (Figure 5-5). Par exemple, un objectif pour obtenir le plus de marge brute toute en gardant une quantité de riz qui doit être produite, une quantité de main d'œuvre et une surface cultivable limitées ; la traduction dans le modèle devient un objectif de maximisation de la marge brute avec une obligation de production rizicole supérieure ou égale au seuil, une utilisation de surface et de main d'œuvre inférieure au seuil.

II.4.3.2- Les variables contrôlables

La main d'œuvre saisonnière : le nombre totale de la main d'œuvre utilisée durant la saison dans chaque région permet de contrôler la variation de cet indicateur en fonction de la réalité (la quantité de MO réelle disponible par saison). En effet, la variation de la main d'œuvre issue du modèle ne devrait pas excéder le nombre total de main d'œuvre disponible d'une région, d'une localité, ou d'une exploitation.

La MO mensuelle : outre celle de la saison, elle est la combinaison de la localité et des mois. Elle permet d'intervenir sur la quantité de MO disponible par mois. Cette contrainte inclut en elle la première contrainte. Avec celle-ci, l'utilisation de la main d'œuvre ou plus précisément sa distribution dans les mois ne sont pas fixe, alors qu'avec la contrainte MO par mois, elle peut être fixée en rapport avec la quantité mensuelle réelle disponible. Généralement, elle est égale au rapport de la quantité de MO disponible avec le nombre de mois d'une saison culturale.

La variable de production rizicole : dans un objectif d'autosuffisance alimentaire, la variable riz a été introduite à la fois comme indicateur et comme variable contrôlable étant donné que c'est la base de la nourriture du pays.

Notons que les variables contrôlables peuvent être introduites individuellement ou simultanément dans le modèle.

II.5- Paramétrage du modèle

Trois types de programmations ont été réalisés (Figure 5-6) : le premier se focalise sur l'établissement du modèle. Cela consiste à générer le modèle pour chacun des objectifs sans intégrer les variables contrôlables. Cela permet de définir les points de départ et les maxima pour tous les indicateurs, notamment pour la quantité de main d'œuvre (TLab) et de calculer

le nombre de MO nécessaires pour que toutes les terres soient utilisées, et plus précisément cultivées¹⁷.

Le deuxième consiste à intégrer petit à petit les variables contrôlables. Celles qui ont les résultats les plus valides, c'est-à-dire avec un mode de gestion le plus proche de la réalité ont été retenues. La validation du modèle consiste à trouver le scénario avec lequel on peut identifier les valeurs similaires à la réalité dans chaque localité. Pour cela des analyses de corrélation entre l'occupation réelle des sols et celle simulée combinée avec la confrontation visuelle des résultats ont été réalisées pour cibler le point de repère le plus proche. Comme la superficie cultivable de chaque localité et la superficie réelle issue des exploitations enquêtées sont à différentes échelles, nous avons choisi d'utiliser le pourcentage qu'occupe chaque culture pour pouvoir comparer l'utilisation des terres. Pour cela, l'objectif de la maximisation de l'indicateur de marge brute d'une localité a été choisi comme exemple pour montrer l'évolution de l'utilisation des terres en fonction de l'évolution de la quantité de main d'œuvre disponible.

La troisième se focalise sur la simulation des scénarios avec des changements climatique et démographique. L'évolution des indicateurs ainsi que l'occupation des sols (les allocations de ressources) en fonction des deux facteurs sont évalués. La simulation avec un changement démographique s'effectue avec le changement du nombre de main d'œuvre disponible, tandis que le scénario avec un changement climatique s'effectue avec l'introduction des variables contrôlables. Étant donné que le changement climatique dans le lac Alaotra se manifeste par un raccourcissement de la période de pluie et une fréquente poche de sécheresse, le premier entraîne un bouleversement des calendriers culturels ainsi qu'une forte concentration des activités durant certaine période. Ainsi, en cas de changement climatique, une limitation du nombre de MO disponible par mois a été affectée au modèle car la quantité de MO disponible peut ne pas être suffisante durant ces périodes. La fréquente poche de sécheresse se traduit par l'utilisation des valeurs issues des enquêtes en cas de CC.

¹⁷ L'utilisation des terres inclut la jachère et l'agroforesterie.

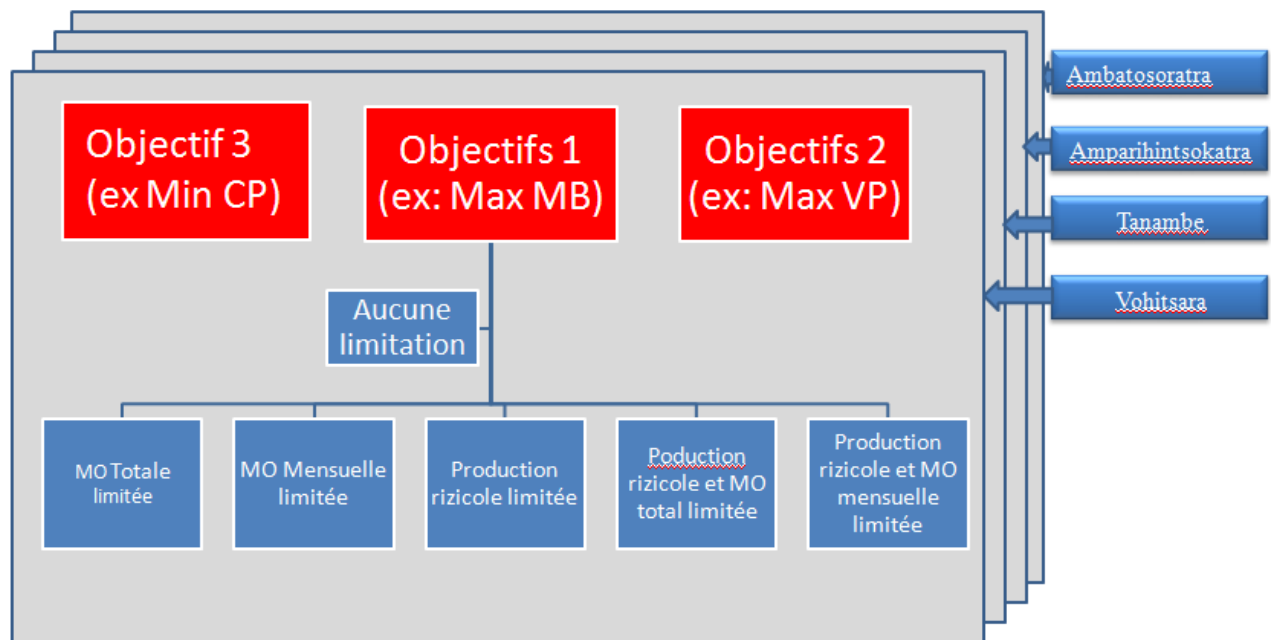


Figure 5-6- Représentation graphique des scénarii d'identification de la situation la plus similaire à la réalité

II. 6- Description de la situation actuelle à partir de SEAA

La description de la situation actuelle a été réalisée à partir des résultats du modèle SEAA. Pour cela les valeurs maximales actuelles¹⁸ au niveau régional et au niveau des différents types d'exploitations ont été prises pour référence (égale à 1 ou 100%) pour chaque indicateur. Les valeurs maximales à l'échelle de la localité et à l'échelle des exploitations ont été résumées dans un tableau pour avoir la notion de valeur de chaque indicateur. Les valeurs de chaque indicateur ont été mises sur une figure en radars pour la comparaison entre les différentes localités.

II.7-Scénarii avec un changement climatique

Le changement climatique affecte à la fois les pratiques agricoles mais également l'économie. Dans un premier temps, ses effets sur les pratiques ont été mesurés à partir de la surface occupée par les différentes cultures pour deux scénarii climatiques différentes dont le scénario actuel, et le scénario avec changement climatique traduit par une mauvaise année culturale. Cette dernière se traduit (en termes de programmation du modèle) à la fois par une limitation de la main d'œuvre disponible par mois, majorée de 20 issues des échanges. Les 20% est le maximum d'échanges possibles entre différentes localités et/ ou

¹⁸ Les valeurs de chaque indicateur des quatre localités et/ou des différents types d'exploitations ont été relevées pour la situation actuelle. Les maximales entre les localités et exploitations (pour chaque indicateur) ont été prises pour référence égale à 100% ou 1 dans les figures.

entre les différents types, et par une utilisation des valeurs issues des enquêtes en cas d'un changement climatique¹⁹.

Cette variation de l'occupation des sols est à la fois dépendante de la production (rendement par culture) et des bénéfices économiques obtenus par type de culture. Ainsi, en optimisant les indicateurs des objectifs, le modèle choisit les cultures dont les rendements et/ou la valeur économique sont élevés, tant pour le scénario sans changement que pour le scénario avec changement climatique. La différence entre le mode d'occupation des sols décrit ainsi la sensibilité des cultures aux changements climatiques.

Dans un second temps, ses effets sur les différents indicateurs ont été mesurés à partir de la différence entre les valeurs issues de la situation actuelle et la situation avec changement climatique. Généralement, cela se manifeste par une diminution de la production de chaque parcelle enquêtée liée à une situation avec un raccourcissement de la période de pluie et une fréquente poche de sécheresse.

II.8- Scénario avec un changement démographique

Le changement démographique a été traduit par une augmentation du nombre de main d'œuvre disponible. La proportion de la MO par famille a été considérée comme constante. Ainsi, une augmentation du nombre de la population sous-entend également une augmentation du nombre de MO disponible par famille. Les effets de cette évolution démographique sur les différents indicateurs ont été évalués entre la situation actuelle et la situation avec CD. La situation avec un changement démographique prise pour référence est la situation où toutes les surfaces sont cultivées et où la valeur des objectifs est optimale.

II.9- Evaluation de la sensibilité

La sensibilité aux deux facteurs a été évaluée à partir de deux points dont :

- Evolution de l'occupation des sols

Cela consiste à comparer d'un côté les superficies cultivées pour chaque situation, et celle qu'occupent les différentes cultures de l'autre.

- Evolution des indicateurs

La situation actuelle a été comparée avec les situations avec changements climatique et démographique. Pour cela, des références ont été prises pour une meilleure comparaison. Les maximums de chaque indicateurs (MB, CP, RY, Fumier, etc....) à différents niveaux (locale et exploitation) pour la situation actuelle ont été pris pour références (c'est à dire 100%). La

¹⁹ Au cours des enquêtes, trois types de valeurs ont été collecté, une valeur décrivant la situation actuelle, une valeur en cas de bonne saison culturale en termes de répartition de la pluie, et une valeur en cas de mauvaise répartition de la pluie.

comparaison a ensuite été réalisée entre trois scénarii : (a) actuelle Vs avec Changement climatique ; (b) actuelle Vs avec changement démographique et (c) actuelle Vs avec CC et CD). Cela permet : (i) de connaître la position actuelle de chaque indicateur d'une localité ou d'un type d'exploitation, une fois comparée avec celles des autres localités ou autres exploitations. (ii) de voir l'évolution de ces indicateurs en fonction des changements qui peuvent s'opérer au cours du temps (CC, CD et la combinaison des deux situations CC et CD). Les valeurs de chaque indicateur ont été ramenées à une même échelle (la valeur des indicateurs par unité de surface cultivée). Elles ont été ensuite divisées par les valeurs maximales de référence pour être mis sur une figure en forme de radars²⁰.

Un indicateur est considéré comme sensible à un facteur par rapport à son éloignement à la situation actuelle²¹. A chaque indicateur est ensuite attribuée la valeur de 1 s'il est sensible à un facteur et 0 dans le cas contraire. La somme des points constitue la sensibilité d'un type d'exploitation par rapport à un facteur.

III- Résultats et discussions

III.1- Fonctionnement du modèle

Les indicateurs de production traduits en objectifs déterminent le fonctionnement du système. Toutefois, ces indicateurs sont définis en fonction de la réalité, notamment les moyens à leur disposition, la connaissance des exploitants agricoles (niveau d'éducation, expérience par rapport à ce qu'ils ont vécu) et des contraintes sociales (traditions, us et coutume, obligations...). Le niveau de connaissance est différent pour chaque exploitation, les contraintes sociales sont également des variables difficiles à maîtriser et à quantifier. Ainsi, la modélisation se focalise sur la gestion des moyens à disposition des exploitants pour avoir une production agricole adaptée à chaque situation et stressés liés aux changements climatique et démographique.

Un indicateur évolue en fonction de la disponibilité des moyens (notamment humain, financier, foncier) et des pratiques utilisées. Dans cette étude, les pratiques dépendent des moyens techniques et technologiques et sont basées sur les techniques et outils existants et utilisés actuellement dans la région. En outre, les moyens financiers dépendent en grande partie de la production des saisons culturelles précédentes. Ainsi les moyens à disposition dépendent en grande majorité des ressources humaines et foncières. Pourtant, selon les

²⁰ Ce type de figure permet de présenter sur une même figure plusieurs variables de différentes les unités et de différentes échelles.

²¹ La différence entre la valeur actuelle et celle avec un changement constitue la sensibilité. Pour connaître qu'un indicateur est plus sensible à un facteur 1 qu'à un facteur 2, il faut que Sensibilité du premier facteur soit supérieure ou égale à la sensibilité du second facteurs majorés de 5%. Dans le cas où S1 est inférieure à S2+5%, l'indicateur est sensible au deux facteurs. 5% a été considérée comme le seuil d'interférence entre deux facteurs

différents objectifs et la quantité de ressources humaines utilisées (Main d'œuvre), la superficie cultivée et l'occupation des sols évoluent également (Figure 5-7).

En générale, la quantité et la qualité des moyens utilisés déterminent la superficie cultivée. Les techniques traditionnelles utilisent de grandes quantités de MO et ne cultivent que de superficies assez limitées. Dans cette étude, trois types de résultats ont été obtenus pour le fonctionnement du modèle : (a) la superficie cultivée varie en fonction de la quantité de main d'œuvre utilisée, (b) l'occupation des sols évolue en fonction de la MO utilisée et de la superficie de terroirs disponibles dans chaque localité, (c) la valeur des indicateurs varie en fonction de l'occupation des sols.

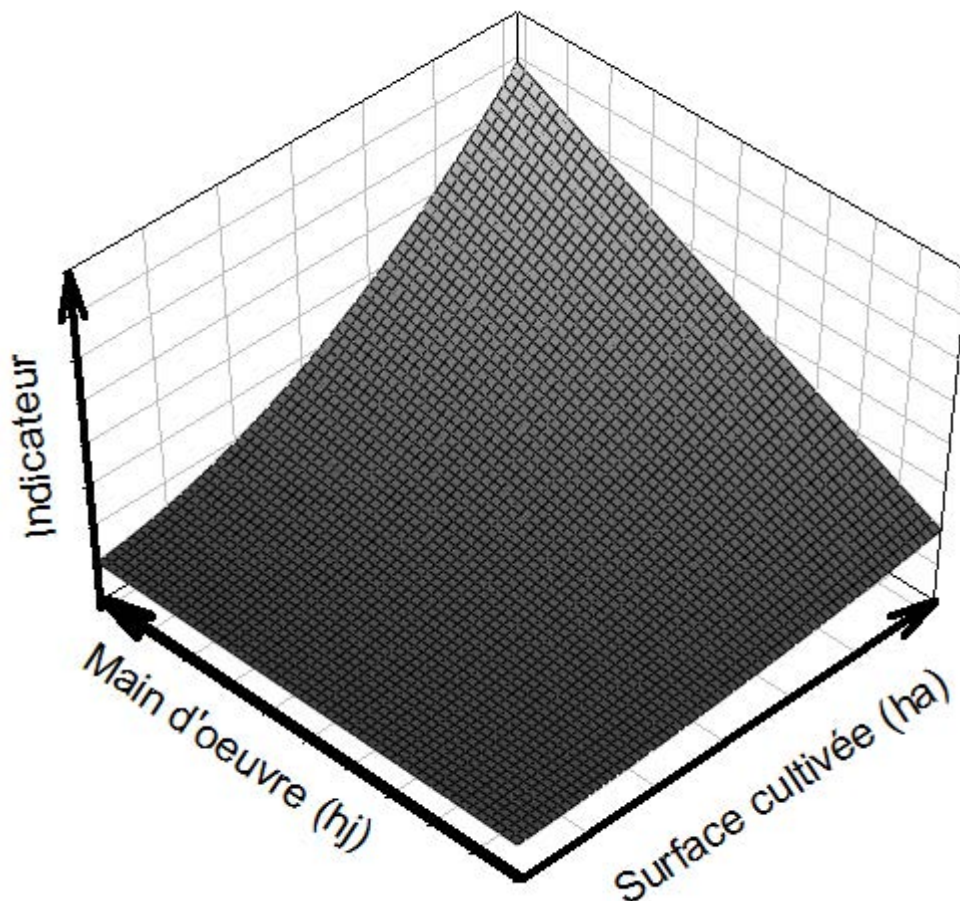


Figure 5-7 : relation entre indicateur, surface cultivée et quantité de main d'œuvre utilisée

III.2- Validation du modèle

Le modèle prédit que la marge brute augmente suivant la quantité de travail allouée (Figure 5-8a). Parallèlement, l'occupation des sols évolue également. Plus il y a de la MO disponible, et plus la surface cultivée augmente et celle en jachère diminue. Au fur et à mesure qu'il y a

de MO disponible, il y a également diversification de cultures. Dans le cas présent, à plus de 35 $\text{hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$, il y a apparition de la culture de tomates et avec 60 $\text{hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$ disponible, celle de l'arachide. Cela vérifie le résultat d'autres études qui avancent qu'une augmentation de la population déclenchera des changements dans le système allant d'un système extensif vers une intensification agricole (VanWey *et al.*, 2007; López and Sierra, 2011; Winterhalderl, 1980).

L'utilisation des terres a été découpée et analysée par palier ²²(Cette évolution a été analysée par tranche de main d'œuvre disponible). Une coupe au niveau d'un repère quelconque appelé « R » nous montre la surface occupée par type de cultures (Figure 5-8b). Au niveau de 70 $\text{hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$, la culture de riz occupe plus de 70% de la surface cultivable, viennent ensuite l'arachide et les tomates. La jachère occupe 8% du total. La corrélation entre la réalité et la simulation au niveau de ce repère R est de 0.99 (Figure 5-8c). Cette démarche a été suivie pour tous les scénarii d'identification de la situation la plus similaire à la réalité.

L'ensemble des corrélations entre la réalité et le simulé pour tous les points, c'est-à dire de son évolution en fonction de la main d'œuvre introduite, montre que pour chaque scénario, il y a un pic qui représente le point de rapprochement (Figure 5-9). La valeur du pic varie en fonction de l'objectif et du paramétrage du modèle (les objectifs traduits en variables contrôlables introduits dans le modèle). Par exemple, les corrélations de la maximisation de la main d'œuvre utilisée, avec et sans variables contrôlables, sont différentes. Si elle est d'environ 55% pour le premier scénario (sans contrainte), elle peut atteindre les 85% pour le second scénario (avec variables contrôlables). Les valeurs des variables contrôlables réajustent le modèle à tendre vers la réalité.

²² Le pallier est défini dans le modèle. Il peut être programmé dans le modèle.

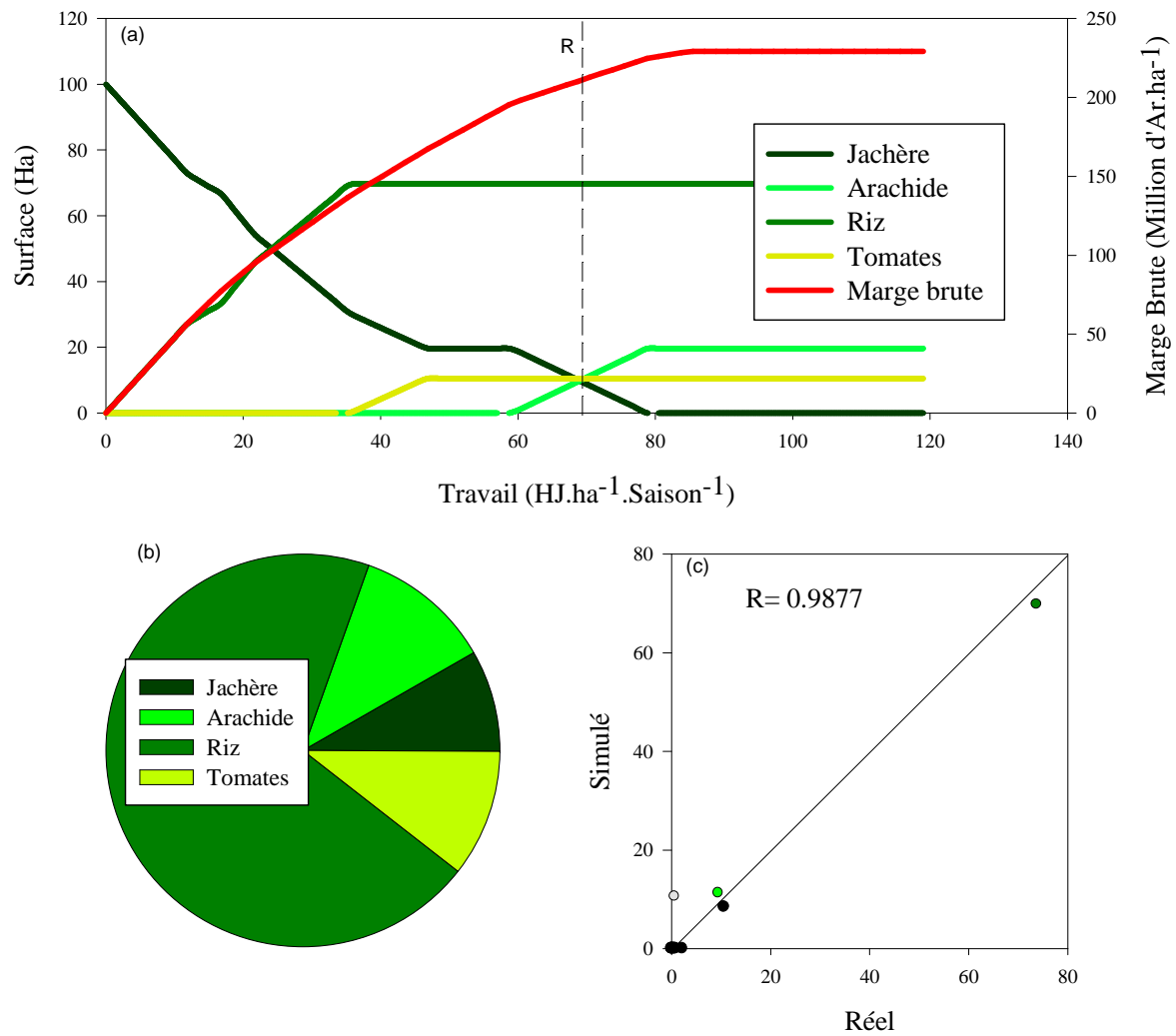


Figure 5-8 : Validation du Modèle SEAA

(a) Evolution de la marge brute et de l'utilisation des terres en fonction de l'utilisation de la main d'œuvre pour un scénario sans aucune contrainte considérée, R représenté par les tiretés du fig (a) comme un repère de découpage. (b) Occupation des sols au niveau du repère « R ». (c) corrélation entre la surface réelle et la surface simulée au niveau du repère « R ».

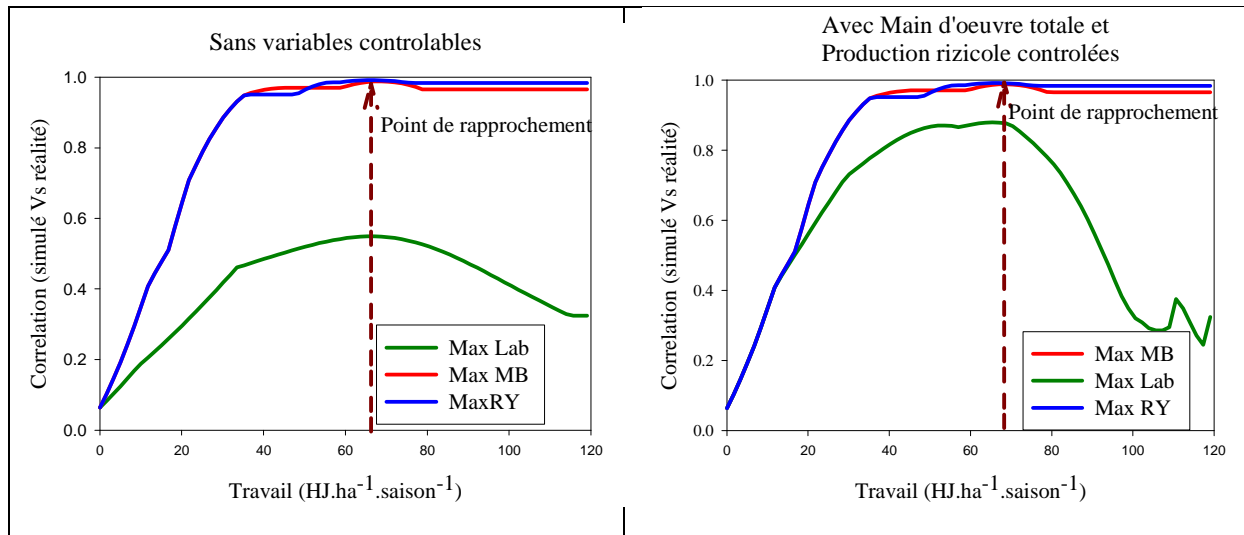


Figure 5-9 : Evolution des corrélations entre la réalité et le simulé de trois objectifs

et les points de rapprochement entre les deux situations pour deux scénarii (a) sans variables contrôlables introduites et (b) avec main d'œuvre totale et production rizicole limitée. Max MB représente le scénario avec l'objectif de la maximisation de la marge brute, Max lab, celle de la Main d'œuvre, et Max RY, celle de la production rizicole.

En général, les scénarii avec la maximisation de la main d'œuvre utilisée ont en moyenne les plus faibles représentativités de la réalité et présente le plus de variations. Elles viennent du choix de l'occupation des sols (les cultures mises en place). Le modèle choisit la combinaison de cultures la plus exigeante en demande de main d'œuvre, tandis que, dans la réalité, les exploitants agricoles pensent généralement à maximiser les profits économiques. Aussi, les scénarii de la maximisation de la marge brute et de la valeur de production se rapprochent-ils le plus souvent de la réalité avec une corrélation supérieure à 0.95%. Pour la minimisation du coût de la production, le modèle choisit de mettre toutes les surfaces en jachère, sauf dans le cas où il y a introduction des objectifs traduits en variables contrôlables. L'introduction de plusieurs variables contrôlables entraîne généralement une meilleure calibration du modèle car plus on introduit de variables (plus précisément, les valeurs des variables contrôlables sont identifiées), et plus on force le modèle à converger vers la réalité. Les variables contrôlables peuvent être ainsi considérées comme des indices données au modèle. Toutefois, cela représente un inconvénient dans le sens où le modèle devient moins robuste, beaucoup plus spécifique et plus exigeant en donnée d'intrant.

Par ailleurs, le niveau du pic (la valeur de la corrélation) varie également d'une localité à une autre et suivant le nombre de main d'œuvre utilisée (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Pour les quatre localités étudiées, elle varie de 0,805 à 0,999 avec la maximisation de la marge brute, de 0,453 à 0,999 avec la maximisation de la main d'œuvre, de 0,843 à 1 avec la production rizicole, et de 0,805 à 0,999 avec la valeur de production.

L'identification de l'allocation des ressources similaires à la réalité à partir des valeurs de

L'identification de l'allocation des ressources similaires à la réalité à partir des valeurs de corrélation nécessite également un réajustement avec la comparaison visuelle des surfaces. Il faut faire une analyse de la distribution des allocations, car se fier uniquement sur la corrélation peut fausser la valeur du repère ainsi que tous les calculs qui s'en suivent, et entre autre la vulnérabilité des systèmes. Un repère ayant un pic le plus élevé peut ne pas être représentatif de la situation réelle. C'est le cas de la situation de la localité d'Amparihintsoakatra où la corrélation la plus élevée est atteinte avec l'objectif de la maximisation de l'utilisation de la main d'œuvre (Tableau 5-3) alors que, après confrontation avec l'allocation des terres issue de la réalité, la situation la plus similaire à la réalité se trouve avec l'objectif de maximisation de la valeur de production au niveau de $47 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$.

Compte tenu des différents critères de calibration, dans le cadre général, les situations les plus voisines de la réalité pour les quatre localités sont obtenues avec une limitation de la main d'œuvre totale saisonnière et une quantité de riz qui doit être supérieure à la demande (la quantité nécessaire pour nourrir la population de chaque localité). Aussi, les points de rapprochement avec la réalité ont été visibles avec deux indicateurs dont la marge brute et la valeur de production. Pour la localité d'Ambatosoratra, il se trouve avec le scénario de la maximisation de la marge brute avec une corrélation de 0,989 et une MO utile de $69 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$ (Tab2). Le cas de la localité d'Amparihintsoakatra semble être le plus différent de la réalité avec des cultures différentes et des superficies différentes (Figure 5-10). Malgré tout, la situation la plus proche à la réalité se trouve avec la maximisation de la VP (corrélation de 0,702 et MO de $47 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$). De même, pour le cas de la localité de Tanambe, la situation la plus semblable se trouve avec la maximisation de l'indicateur VP, avec une corrélation de 0,999 et une MO utile de $42 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$). Parmi les quatre localités, celle de Vohitsara semble être la mieux simulée avec une corrélation de 0,999 et une MO de $23 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$ pour une maximisation de la marge brute.

Le modèle optimise le système de manière économique étant donné qu'il y a des variables qui ne sont pas connues dont le marché (loi de l'offre et de la demande) et les traditions sociales. Le modèle choisit la situation la plus rentable en combinant les cultures ayant le plus de valeur économique en fonction des objectifs et des contraintes du modèle. Par exemple, pour un objectif de maximisation de la MB, les contraintes introduites sont le maximum de MO utilisée et le minimum de riz produit, l'équation choisie par le modèle peut être différente de celle dont on n'exige pas de minimum de riz. Il se peut que le modèle choisisse d'autres combinaisons de cultures que celle avec des contraintes. Prenons le cas de la localité d'Amparihintsoakatra où on a le plus de différences en termes de cultures utilisées. Les surfaces utilisées par le modèle sont presque les mêmes pour le riz et la jachère. Tandis qu'au lieu d'avoir une association de maïs-arachide-haricot, le modèle choisit de mettre à leur place une seule culture dont le haricot, ceci du fait que, bien que l'arachide ait une

valeur en marge brute élevée, elle est contrainte par la disponibilité de la main d'œuvre. Le maïs a une plus faible marge brute que le haricot. Comme solution la plus rentable, le modèle a choisit de mettre le haricot. Cela confirme le résultat sur le fait que la plus grande stabilité de rendements agricoles peut être atteinte en assurant avec une seule culture (Tilman, 1999).

Tableau 5-3: Les caractéristiques des situations les plus semblables à la réalité (objectifs, main d'œuvre utile et corrélation) des localités étudiées autour du Lac Alaotra.

Localité	Objectif	Main d'œuvre utile (hj.ha ⁻¹ .saison ⁻¹)	Corrélation
Ambatosoratra	Maximisation de la Marge Brute (MB)	69	0,989
Amparihintsokatra	Maximisation de la Valeur de Production (VP)	47	0,702
Tanambe	Maximisation de la Valeur de Production (VP)	42	0,999
Vohitsara	Maximisation de la Marge Brute (MB)	23	0,999

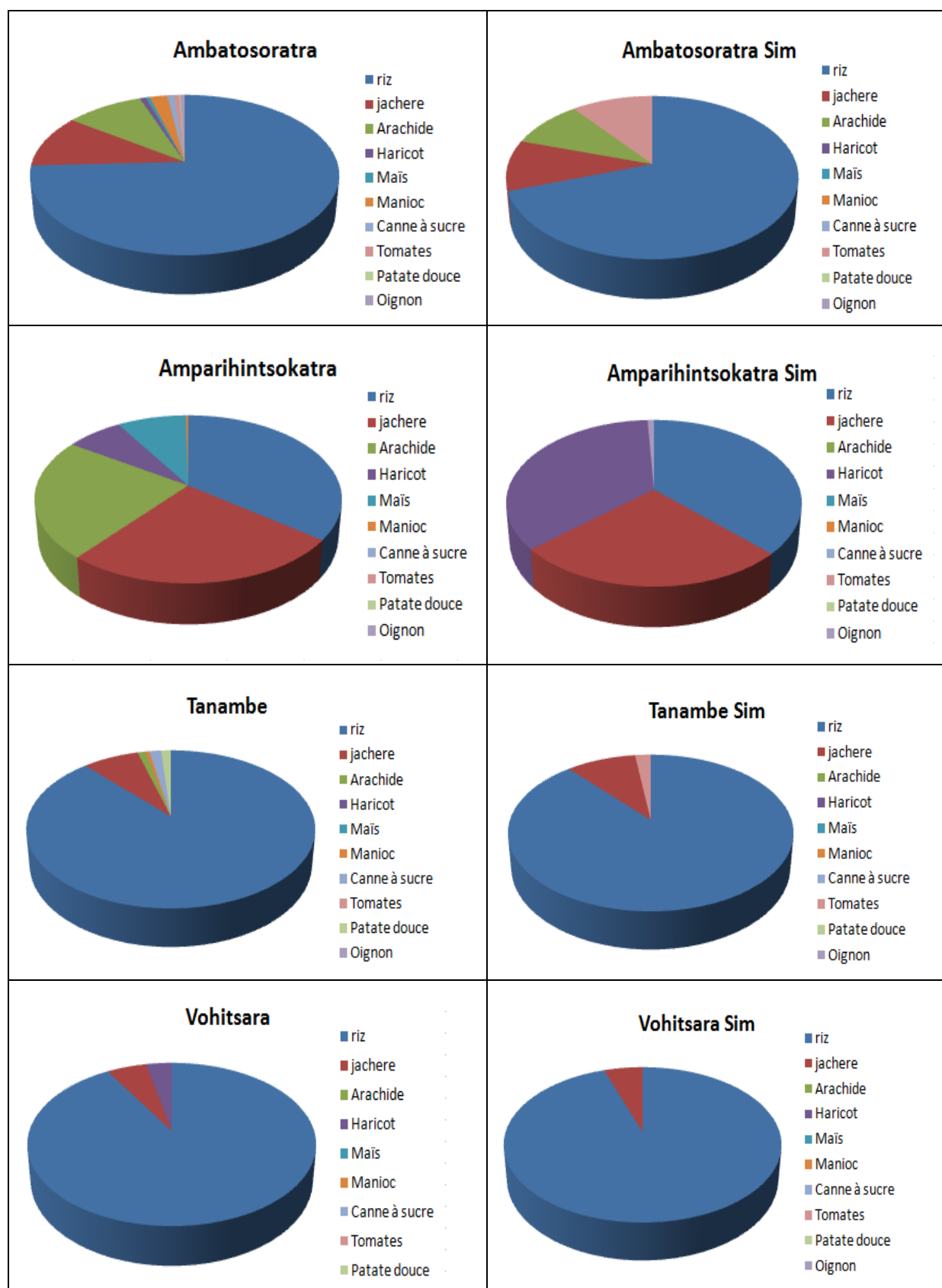


Figure 5-10: Comparaison de l'utilisation des terres entre la situation réelle (Réal) et la situation la plus proche simulée avec SEAA (Sim) dans quatre localités du Lac Alaotra :

Ambatosoratra (Amb), Amparihintsoakatra (Amp), Tanambe (Tan) et Vohitsara (Voh).

III.3- Description de la situation actuelle à partir de SEAA

Une fois les valeurs de chaque indicateurs ramenées par unité de surface, la localité d'Ambatosoratra se démarque des autres localités car elle détient les maximums des valeurs pour 6 indicateurs sur les 9 considérés dont la marge brute, la main d'œuvre utilisée, le coût de production, la production rizicole, la quantité de fumier, d'urée et d'insecticide utilisée (Figure 5-11). En effet, cette localité possède le plus de diversités de terroirs, et peut ainsi diversifier les types de cultures à mettre en place. Pourtant la quantité de main d'œuvre requise pour chaque type de culture est différente. Ainsi, cette localité utilise le plus de main d'œuvre. Parallèlement à cette diversité de cultures, cette localité obtient également le plus de marge brute, car la présence de plusieurs types de terroirs lui permet de mettre des cultures de rentes, notamment sur les *Baiboho*, et dont la rentabilité économique est supérieure à la monoculture de riz. Toutefois, ce bénéfice du point de vue économique s'accompagne d'un coût de production supérieur à ceux des autres localités. Cela est étroitement lié à la quantité de main d'œuvre utilisée et aux coûts de pesticides et de fertilisants utilisés. En effet, cette localité utilise à la fois une quantité importante en fumier, en urée et en insecticides. La quantité de fumier élevée par rapport aux autres localités s'explique par la disponibilité du cheptel bovin dans cette localité et par son utilisation pour l'amendement des terroirs pluviaux et notamment les *Tanety* et *Baiboho*. Celle de l'urée est liée à la situation climatique : les exploitants agricoles de cette localité préfèrent investir dans l'urée pour accélérer le processus de développement de la plante (surtout pour le riz) pendant la pépinière.

Par ailleurs, la localité de Tanambe détient la valeur de référence pour l'herbicide (7.76 kg.ha^{-1}) à cause du développement de mauvaises herbes sur les rizières irriguées. La localité de Vohitsara utilise le plus de NPK en situation actuelle pour accélérer la maturation du riz.

En outre, les localités de l'Est (Ambatosoratra et Amparihintsokatra) utilisent également plus de main d'œuvre par rapport à celles de l'Ouest (Tanambe et Vohitsara). Cela vérifie le résultat de l'enquête qui montre que les deux dernières localités utilisent moins de main d'œuvre à cause de l'utilisation des moyens motorisés (tracteur et motoculteur). On peut noter également que la localité d'Amparihintsokatra possède la plupart des minimums des valeurs des différents indicateurs parmi les quatre localités étudiées. En effet, la plupart des cultures de cette localité se font dans les rizières de bas fond et ne nécessite ni beaucoup de main d'œuvres ni fertilisant agricoles.

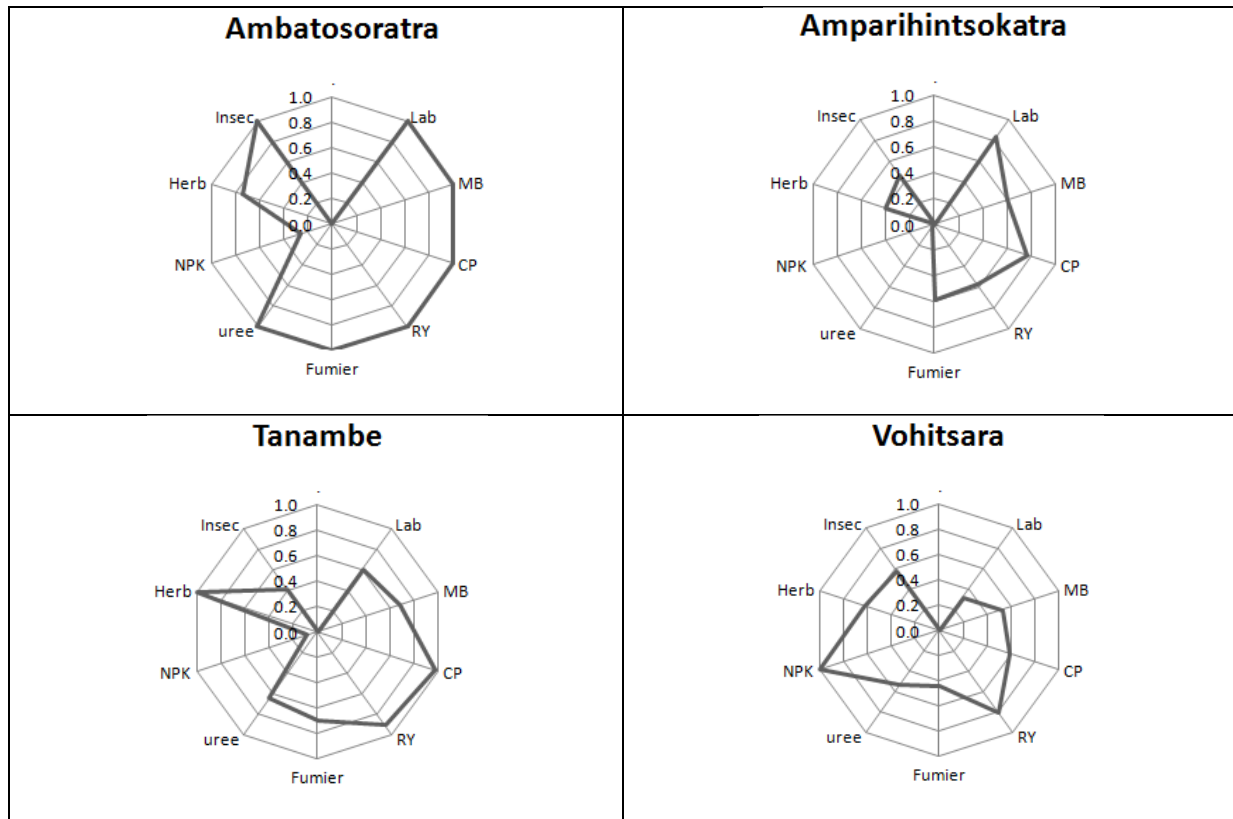


Figure 5-11 Variation des indicateurs à l'échelle de la localité. 100% représente les valeurs maximales de chaque indicateur trouvé à l'échelle de la localité (valeur référence).

Tableau 5-4 : Tableau de référence des valeurs maximales des indicateurs obtenues à l'échelle régionale et exploitation pour la situation actuelle.

Indicateurs	Unité	Maximales des trois types d'exploitation				Maximale au niveau de la région
		Amb	Amp	Tan	Voh	
Lab	hj.ha ⁻¹	71.14	85.67	55.02	61.71	76.44
MB	Ar 10 ⁶ .ha ⁻¹	2.32	1.92	1.83	1.49	2.34
CP	Ar 10 ⁶ .ha ⁻¹	0.36	0.28	0.39	0.29	0.37
RY	T.ha ⁻¹	3.99	3.58	3.47	3.56	3.58
manure	kg.ha ⁻¹	745.73	668.78	465.82	290.37	768.68
uree	kg.ha ⁻¹	17.73	0.78	24.05	7.28	16.36
NPK	kg.ha ⁻¹	2.24	0.00	2.69	6.64	7.76
Herb	kg.ha ⁻¹	0.97	0.91	1.60	0.84	1.38
Insec	kg.ha ⁻¹	2.20	1.01	1.66	1.83	2.27

III.3- Scenario avec un changement climatique

III.3.1- Evolution à l'échelle régionale

III.3.1.1- Changement du mode d'occupation du sol en fonction du changement climatique

Quatre points peuvent être retenus à propos de l'occupation des sols avec la tendance actuelle vers un raccourcissement de la période de pluie et une fréquente poche de sécheresse :

- Le changement climatique entraîne un changement dans l'occupation des sols. Ce changement se manifeste par une diminution de la superficie cultivée. En général, le raccourcissement de la période de pluie entraîne une concentration des activités. Cette dernière entraîne à son tour, d'un côté, une priorisation des parcelles, et de l'autre la conversion de certaines parcelles en jachère (Figure 5-12).
- La culture de riz domine quelle que soit la localité à cause de la tradition selon laquelle les rizières sont destinées au riz.
- Dans les localités de l'Est, il y a de moins en moins de culture de rente. En effet, la culture de rente prend une place importante pour une situation sans CC car elle occupe 20% de superficie totale dans la localité d'Ambatosoratra et 36% dans la localité d'Amparihintsoakatra. Alors que pour une situation avec CC, ce type de culture n'occupe plus que 11% et 13% de la place. Cela se justifie par la présence des *Tanety* et/ou des *Baiboho* dans les deux localités qui sont convertis en jachère à cause de la faible productivité.
- Pour les localités de l'Ouest, on assiste à une conversion de certaines parcelles rizicultivées pour une situation sans CC en cultures vivrières pour une situation avec CC dans la localité de Tanambe. Cette localité connaît le moins de conversion des parcelles en jachère à cause de l'accès à l'eau, grâce à la présence de barrage de retenue d'eau qui alimente les parcelles de cette localité. Ainsi, malgré le raccourcissement de la période de pluie, cultiver d'autres cultures de rente dans cette région est beaucoup plus bénéfique du point de vue économique que de les mettre en jachère s'il y a possibilité d'irrigation. Enfin, pour la localité de Vohitsara, 42% des surfaces cultivables sont converties en jachère pour les mêmes raisons climatiques et leurs effets que pour les localités de l'Est.

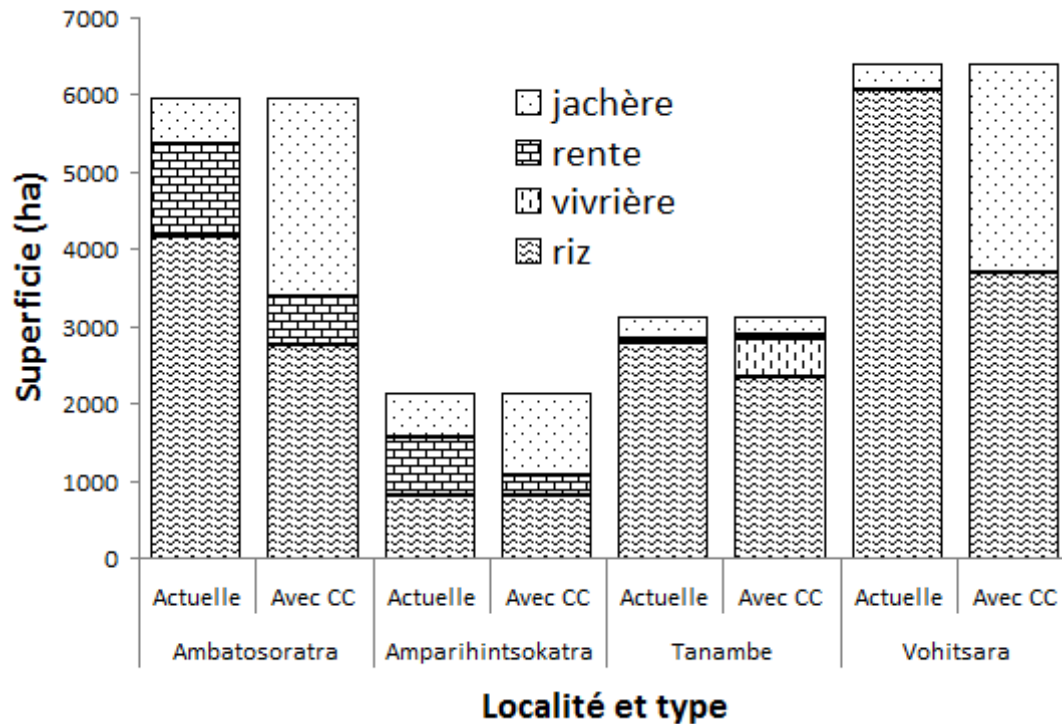


Figure 5-12 : Evolution de l'occupation des sols pour un scenarii avec changement climatique à l'échelle régionale

III.3.1.2- Variation des indicateurs de production en fonction du changement climatique

Le changement climatique entraîne notamment des effets sur deux indicateurs de production dont la production rizicole et la marge brute, et deux indicateurs de gestion dont l'utilisation de fumier et d'urée dans la localité d'Ambatosoratra. Les effets sur les premiers indicateurs se manifestent par une augmentation, tandis que pour les seconds types d'indicateurs, cela se montre par une diminution de la valeur de la marge brute obtenue.

La localité d'Amparihintsoakatra affiche le moins de changement en cas de changement climatique. Par ailleurs, les indicateurs de production de la localité de Tanambe sont également influencés par le CC. Et enfin, pour la localité de Vohitsara, ce sont surtout les indicateurs de gestion qui connaissent une forte variabilité entre les deux situations climatiques. Cela se manifeste par une augmentation de la quantité d'intrants utilisée et occasionne ainsi une augmentation du coût de production.

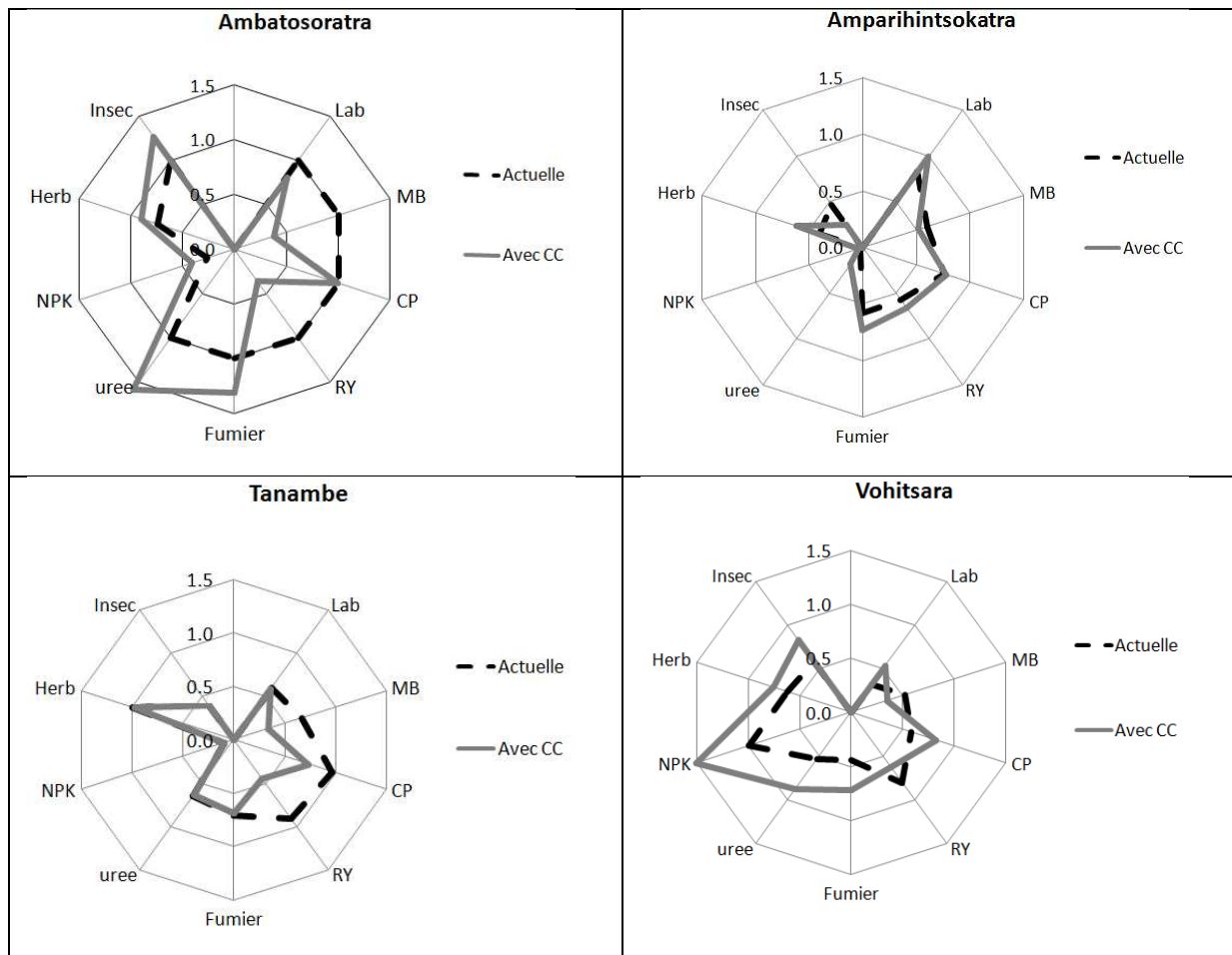


Figure 5-13 : Evolution des indicateurs de production agricole à l'échelle régionale en fonction de changement climatique.

Evolution de la marge brute

La marge brute diminue de la situation sans changement climatique vers une situation avec CC quelle que soit la localité. La marge brute maximale obtenue à l'échelle régionale est de 2.34 millions d'Ar.ha⁻¹ pour la situation actuelle ((Tableau 5-4). Pour toutes les références qui vont suivre à cette échelle, cela correspond à 100% de la marge brute et va servir de référence. Dans la localité d'Ambatosoratra, la diminution part de 100% à 38%, soit une perte économique de 1,46 millions d'Ar.ha⁻¹ (Figure 5-13). L'écart entre les deux situations est de 8% pour la localité d'Amparihintsoatra, et respectivement de 34% et 18% pour les localités de Tanambe et Vohitsara. Cette diminution de la valeur de la marge brute obtenue est étroitement liée au coût de production supérieure ou égale à celle de la situation sans changement climatique, alors que la production agricole diminue pour une situation avec CC. La diminution de la production agricole dépend en grande partie de la superficie de terroir disponible dans chaque localité, du mode d'occupation des sols, de la productivité de chaque terroir en fonction de la sensibilité des cultures à un changement du régime pluviométrique, et de la concentration des activités. Ainsi, la localité d'Ambatosoratra connaît le plus de variabilité en termes de marge brute du fait de la présence de plusieurs

terroirs dont la majorité est pluviale et que la production y est très influencée par le régime pluviométrique. Par ailleurs, l'écart de la marge brute entre les deux situations, dans la localité d'Amparihintsoakatra, est faible par rapport aux autres localités pour la raison qu'actuellement une grande partie des terroirs n'est pas cultivée à cause de l'insuffisance de moyens humains, financiers et au manque d'outils. Ainsi, la variation de production y est surtout mesurée à partir des superficies cultivées, qui, en général, se trouvent sur des terroirs de bonne maîtrise d'eau, et donc moins sensible à la variation de la pluviosité. Par contre, avec la tendance vers un raccourcissement de la période des pluies et à une forte fréquence de poche de sécheresses, il y a de plus en plus de *Tanety* convertis en jachère. La variation de la MB dans les localités de l'Ouest est étroitement liée au mode d'occupation des sols selon les deux situations climatiques. Le modèle choisit le mode d'occupation ayant le plus de rentabilité économique en fonction de la variation de production de chaque type de culture selon les deux situations considérées.

Evolution du coût de production

Le coût de production équivalent à 100% à l'échelle régionale est de 370 milles Ariary.ha⁻¹. Si le coût de production atteint le maximal pour une situation avec changement climatique dans la localité d'Ambatosoratra, ce coût est maintenu entre la situation sans CC et la situation avec CC à cause, d'un côté, de la concentration des activités, qui entraîne par la suite une augmentation du prix de la main d'œuvre utilisée, et, de l'autre, d'une intensification de l'utilisation des intrants organiques et minérales pour obtenir le maximum de rendement. Le CP part de 217 milles Ariary.ha⁻¹ pour une situation sans CC dans la localité de Vohitsara et connaît une augmentation de 90 milles Ariary.ha⁻¹ (24%) vers une situation avec CC. Pour la localité d'Amparihintsoakatra, le coût augmente de 2% entre les deux situations, soit un investissement de 6 milles Ariary.ha⁻¹. Seule la localité de Tanambe connaît une diminution de coût de production entre les deux situations. L'écart est 86 de milles Ariary.ha⁻¹, soit une diminution de 23%. Cette diminution est due à la conversion de parcelles rizicultivées en autre cultures vivrières²³.

Généralement, le coût de production d'une situation avec un changement climatique est beaucoup plus élevé par rapport à celui d'une situation sans changement climatique. Cela est reflété par beaucoup plus d'investissements en quantité de travail fournie et en quantité de fertilisants et de pesticides utilisées qui occasionne des coûts dans la production. Aussi, le changement climatique entraîne une intensification de l'agriculture à la fois en demande en main d'œuvre et également en fertilisation organique et minérale, et en pesticides pour limiter les pertes économiques occasionnées par ce changement.

Evolution de l'utilisation de la main d'œuvre

²³ La culture vivrière recommandée ici est le maïs.

La quantité de main d'œuvre utilisée à l'échelle régionale correspondant à 1 ou 100% est de $76 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saison}^{-1}$. Le changement climatique et en particulier le raccourcissement de la période de pluie entraîne une concentration des activités et ainsi une demande en main d'œuvre beaucoup plus importante (notamment entre le mois de Novembre et Janvier). Ainsi, pour gagner du temps dans les activités agricoles, les exploitants de la région investissent beaucoup sur la quantité de main d'œuvre utilisée pour une situation avec un changement climatique. L'augmentation part de 83% à 100% pour la localité d'Amparihintsokatra, soit une augmentation de $17 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saison}^{-1}$ entre une situation sans changement climatique et une situation avec changement climatique ; et de 32% à 53% pour la localité de Vohitsara, soit une augmentation de $16 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saison}^{-1}$. Les quantités de main d'œuvre utilisées pour les deux situations climatiques sont presque identiques pour la localité de Tanambe ($45 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saison}^{-1}$) du fait, d'un coté, que cette localité bénéficie de ressources en eau issues du barrage de retenue, et de l'autre, que la majorité des exploitations de cette localité dispose de moyens motorisés qui leur procurent du temps pour travailler leurs parcelles. L'utilisation de motoculteur ou de tracteur permet de gagner environ $30 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saison}^{-1}$, par rapport à l'utilisation de la charrue à bœufs. La localité d'Ambatosoratra se démarque par la diminution de la quantité de MO utilisée entre les deux situations climatiques. La diminution est de 19% soit $14 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saison}^{-1}$ et est dûe à la diminution des superficies occupées par la culture de rente.

Evolution de la quantité de fumier utilisée

En général, une gestion pour une situation avec changement climatique nécessite une utilisation de quantité de fumier beaucoup plus élevée que pour celle sans changement climatique. Cela résulte du fait que pour limiter les effets du raccourcissement de la période de pluie, il est nécessaire d'intensifier l'agriculture en utilisant beaucoup plus de fertilisation à la fois organique que minérale. Pour le fumier, l'augmentation part de 100% à 131% pour la localité d'Ambatosoratra soit une augmentation de 300 kg.ha^{-1} . Pour la localité d'Amparihintsokatra, l'augmentation part de 44% à 56% soit une augmentation de 120 kg.ha^{-1} . Pour le cas de la localité de Vohitsara, la quantité de fumier utilisée va de 58% à 73%, soit une augmentation de 120 kg.ha^{-1} . Face à un raccourcissement de la période de pluie et à une présence de poche de sécheresse, l'augmentation de la quantité de fumier utilisée permet d'augmenter à la fois la productivité, et également la capacité de rétention en eau du sol. Ainsi, cela permet de limiter les effets négatifs du changement climatique. L'utilisation de fumier dans la localité de Tanambe est la seule à ne pas avoir eu une augmentation. La quantité de fumier utilisée est d'environ 530 kg.ha^{-1} tant pour une situation avec changement climatique que pour une situation sans changement climatique. Cela vient du fait que le nombre de bovins est très limité dans la localité, ce qui explique également la disponibilité de fumier utilisable dans la région. La fertilisation organique à

partir du fumier a une valeur amendante, et par conséquent, améliore la qualité du sol en augmentant sa capacité de rétention en eau et la capacité d'échange cationique.

On peut noter que la quantité moyenne de fumier utilisée dans la région du lac Alaotra est faible par rapport à celle recommandée par le ministère pour le système de riziculture amélioré (SRA), qui va de 7 à 10 T.ha⁻¹. Cela est dû à l'expansion de l'utilisation des motoculteurs et aux vols de bœufs qui entraînent une diminution du nombre de bovins disponibles dans la région ainsi que du fumier disponible.

Evolution de la quantité d'urée utilisée

Tout comme le fumier, l'utilisation de l'urée connaît également une augmentation de la situation sans CC vers une situation avec CC. La quantité d'urée considérée comme référence ou équivalente à 100% à l'échelle régionale est de 16 kg.ha⁻¹. Cette augmentation est surtout perceptible dans la localité d'Ambatosoratra avec 58%, soit un écart de 11 kg.ha⁻¹ ; et dans la localité de Vohitsara avec 34% de différence (6 kg.ha⁻¹). Cette augmentation est étroitement liée à l'utilisation des rizières au bord du lac, là où la submersion de la plante constitue un réel risque, et des rizières hautes, là où les poches de sécheresse constituent le risque majeur. L'urée dans la région du lac Alaotra est surtout utilisée lors des pépinières pour « accélérer le processus de croissance des plantes » et aussi, parce que lors de la pépinière, la densité de la plante est élevée et les exploitants agricoles pensent qu'il est nécessaire de stimuler la croissance avec de l'urée. La localité d'Amparihintsoatra utilise le moins d'urée pour la raison que la majorité de leur culture de riz se trouvent sur les rizières de bas fond, un terroir qui bénéficie déjà des apports en éléments nutritifs issus des bassins versants. Ainsi, les exploitants agricoles préfèrent ne pas ajouter de l'urée par peur de problème de verse dû à l'excès d'azote. L'utilisation de l'urée dans la localité de Tanambe est autour de 10 kg.ha⁻¹ quelle que soit la situation climatique, et est surtout utilisée sur les rizières hautes.

Evolution de la quantité de NPK utilisée

La quantité de NPK équivalant à 100% à l'échelle régionale est de 8 kg.ha⁻¹. L'utilisation des NPK connaît également une augmentation entre une situation sans changement climatique et avec CC. Pour la localité d'Ambatosoratra, si la quantité utilisée est de 2,03 kg.ha⁻¹ pour une situation sans CC, elle passe à 3,21 kg.ha⁻¹ pour une situation avec CC. La localité de Vohitsara connaît non seulement le plus de différences entre les deux situations climatiques avec un écart de 51%, mais utilise également le plus de NPK parmi les quatre localités avec 11,74 kg.ha⁻¹ pour la situation avec CC. L'utilisation de ce type d'engrais est non seulement faible (autour de 0,5 kg.ha⁻¹) pour les localités d'Amparihintsoatra et de Tanambe, mais présente également une faible différence entre les deux situations climatiques (respectivement de 4% et 0,2 %). Cette utilisation de NPK est étroitement liée à la superficie de rizières au bord du lac utilisée dans chaque localité.

Les quantités utilisées à l'échelle régionale pour l'urée et le NPK correspondent au résultat qui décrit que la dose moyenne d'utilisation d'engrais minéraux sur l'ensemble des terres cultivées à Madagascar est de l'ordre de 6 à 8 kg par hectare en rizière (Minten *et al.*, 2003). Toutefois, elles sont faibles par rapport à celle recommandée par l'ONG TAFA²⁴ (100 kg.ha⁻¹ d'urée et 300 kg.ha⁻¹) et le FOFIFA²⁵ (60 kg.ha⁻¹ d'urée et 300 kg.ha⁻¹ de NPK). Ceci est dû, d'un côté au manque de moyens financiers, et de l'autre au refus des paysans d'utiliser plus de fertilisants organiques « par peur de dépendance ».

Evolution de la quantité d'Herbicide et d'insecticide utilisée

La quantité de pesticides et d'herbicides utilisée connaît également une augmentation de la situation sans CC vers une situation avec CC. La localité d'Ambatosoratra utilise le plus de pesticides pour les deux situations avec respectivement de 1 kg.ha⁻¹ et de 1,25 kg.ha⁻¹. Ceci est étroitement lié « à la présence d'insectes terrioles sur les *Baiboho* et *Tanety* ». La localité d'Amparihintsokatra utilise le moins de pesticides et d'herbicides parce que la majorité des terroirs se trouvent sur les *Tanety*, qui, en grande partie ne sont pas cultivés. La localité de Tanambe utilise le plus d'herbicides (1,40 kg.ha⁻¹) du fait que l'utilisation de fertilisants en ajout avec l'accessibilité à l'eau favorise non seulement le développement des cultures, mais également celui de mauvaises herbes. La faible utilisation d'herbicides et de pesticides à l'échelle de la région est due au manque de moyens financiers.

²⁴ L'ONG Tany sy Fampanandrosoana (TAFA) est une des promoteurs de système sous couverture végétale ou SCV.

²⁵ FOibe fikarohana momba ny FIompiana sy ny FAmbolena (FOFIFA) est le centre de recherche de l'Etat Malagasy en agriculture et Elevage.

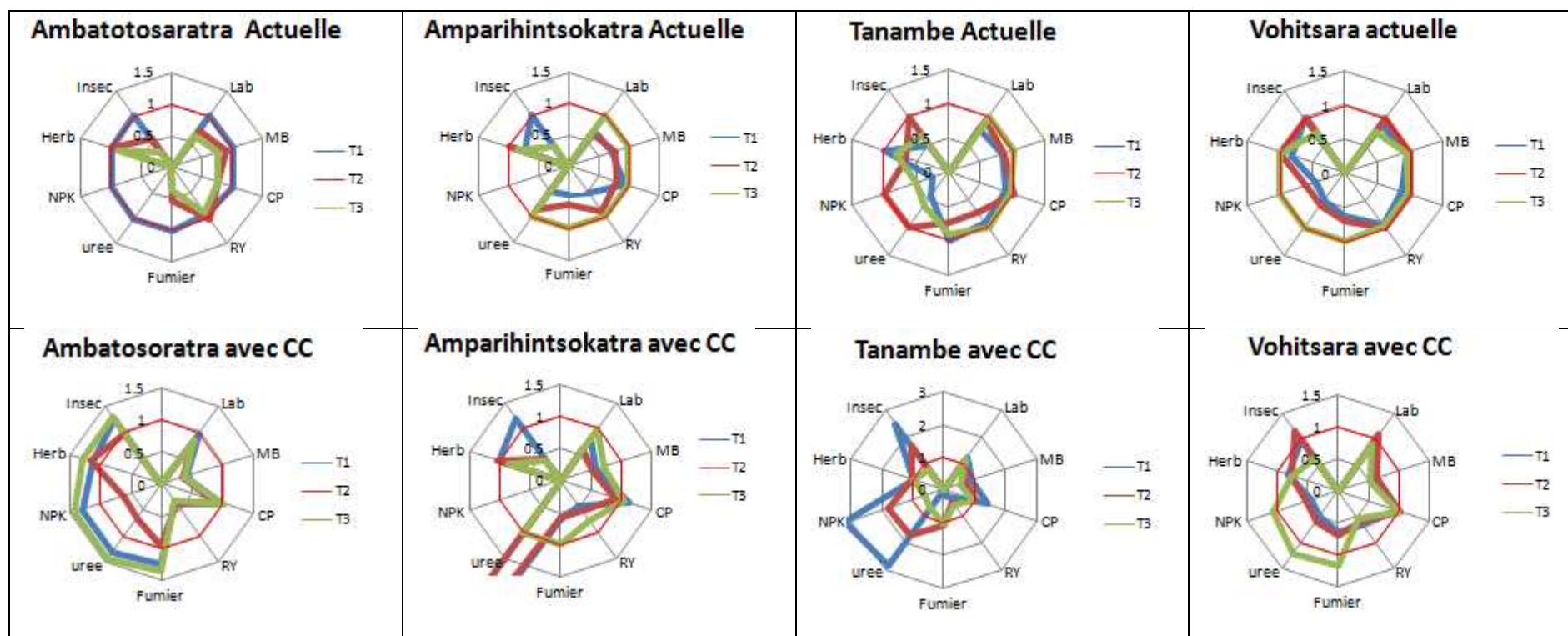


Figure 5-14 : Evolution des indicateurs de production à l'échelle de l'exploitation agricole pour un scénario avec un changement climatique

III.3.2- Evolution à l'échelle des exploitations agricoles

III.3.2.1- Changement du mode d'occupation des sols avec le changement climatique

Les aspects de changements d'indicateurs à l'échelle régionale est également perceptible au niveau des exploitations agricoles, c'est à dire une variation de valeurs des indicateurs en fonction des situations climatiques (actuelle et avec changement du régime pluviométrique). Ainsi, trois points peuvent être mentionnés :

- Le changement climatique entraîne plus de terres converties en jachère à cause du manque de temps. Le raccourcissement de la période de pluie entraîne une concentration des activités, pourtant la quantité de main d'œuvre disponible est limitée. Ainsi, certaines parcelles ne sont pas cultivées. cela sous-entend également que qu'il y a priorisation des parcelles selon (i) la productivité des terroirs, (ii) la rentabilité économique des cultures mises en place (Figure 5-15).
- Pour les localités de l'Est, la superficie cultivée en riz diminue au profit des cultures de rente et surtout de la jachère. Outre le riz, la culture vivrière est absente. Le riz nécessite une importante quantité de travail. Pourtant avec une mauvaise répartition de la pluie, la production est très variable. Les exploitants agricoles ont ainsi intérêt à mettre des cultures de rente ou mettre des parcelles en jachère selon les moyens économiques à leur disposition. L'absence de la culture vivrière pour une situation avec CC vient du fait que déjà il est indispensable pour les exploitants de gagner le plus d'argent possible pour assurer les moyens pour la prochaine saison culturale, mais également il leur est nécessaire d'assurer la sécurité alimentaire (basé sur la production rizicole). Ainsi, les autres cultures vivrières qui résistent à une forte variabilité climatique (le manioc surtout) ont une faible rentabilité économique, ce qui explique l'absence de ce type de culture pour une situation avec un changement climatique.
- Pour les localités de l'Ouest, non seulement il y a conversion des terres cultivées en jachère, mais également en cultures de rente à cause de l'insuffisance en main d'œuvre. Tout comme dans les localités de l'Ouest, l'insuffisance en main d'œuvre entraîne une augmentation de la superficie non cultivée.

III.3.2.2- Variation des indicateurs de production au niveau des exploitations agricoles

Quatre points peuvent être retenus avec le changement climatique à l'échelle de l'exploitation agricole :

- Pour les exploitations de la localité d'Ambatosoratra, le CC a une forte influence sur les indicateurs de gestion (fertilisations, MO, pesticides) ainsi que sur les indicateurs de la marge brute et de la production rizicole. En effet il entraîne une utilisation de beaucoup plus d'intrants (Figure 5-14).

- Les exploitations de la localité d'Amparihintsoatra affichent peu de changement avec le changement climatique, sauf pour le cas de l'urée, qui connaît une augmentation de dix fois plus qu'avec la situation actuelle pour les deux premiers types.
- Pour la localité de Tanambe, le CC a peu d'influence sur les types 2 et 3. Par contre, pour le premier type, il entraîne une intensification de l'utilisation de fertilisants minéraux. En effet, le NPK et l'urée connaissent une augmentation d'environ 300% avec le changement climatique.
- Et pour la localité de Vohitsara, le CC entraîne une diminution tant pour les indicateurs de production que pour les indicateurs de gestion. Cette diminution est surtout perceptible pour le troisième type d'exploitation avec une diminution allant jusqu'à 60%.

Pour avoir de plus amples informations sur l'évolution des indicateurs au niveau de chaque exploitation, essayons de voir en détails les différents indicateurs.

Ambatosoratra

Evolution de la marge brute

Pour une situation avec un changement climatique, la marge brute obtenue dans la localité d'Ambatosoratra tourne autour de 850 milles ariary.ha⁻¹ soit l'équivalent d'environ 35% de ce qui peut être obtenu en considérant toutes les types d'exploitations des différentes localités étudiées (Figure); alors que pour la situation sans CC, elle est aux environs de 2 millions ariary.ha⁻¹. Le type d'exploitation 1 obtient le plus de marge brute quelle que soit la situation. Ceci s'explique par l'utilisation de main d'œuvre importante qui permet de mettre en place des cultures de rente, beaucoup plus rentables que le riz, sur les terroirs pluviaux et en particulier sur les *Baiboho*. Viennent ensuite les types 2 et 3, qui focalisent leur production sur la riziculture à cause de la disponibilité des terroirs. Ainsi, on peut noter que la riziculture dans la localité d'Ambatosoratra est moins rentable que d'autres cultures à cause de la non maîtrise de l'eau qui favorise la diminution de la production rizicole. Toutefois, en terme de sensibilité des exploitations aux changements climatiques, l'exploitation de type 1 est la plus sensible car l'écart est de 61% par rapport à la référence, tandisqu'il est de 55% et de 39% respectivement pour les exploitations de type 2 et 3. Ceci s'explique par la sensibilité des cultures (en fonction des terroirs) et/ou la production agricole totale obtenue pour les deux situations climatiques.

Evolution du coût de production et du fumier

Cette variation de la marge brute dépend du prix total de la production agricole et des coûts totaux occasionnés par cette production. En ce qui concerne cette dernière, le type 1 a le coût de production le plus élevé en situation sans changement climatique (360 milles

ariary.ha⁻¹, contre 280 milles ariary.ha⁻¹ pour le type 2 et 270 milles ariary.ha⁻¹ pour le type 3). Le changement climatique entraîne un surplus de coût occasionné par beaucoup plus d'investissements dans l'intensification agricole, ceci dans le but de limiter les du CC. Ainsi, les coûts de production des trois types d'exploitations (1,2,3) deviennent respectivement 360 milles ariary.ha⁻¹, 330 milles ariary.ha⁻¹ et 370 milles ariary.ha⁻¹ pour une situation avec changement climatique. Cette augmentation est étroitement liée à l'utilisation de beaucoup plus de fertilisation, de pesticides et de main d'œuvre en situation avec CC. En effet, si le type 1 utilise le plus de fumier pour une situation sans changement climatique (745 kg.ha⁻¹), cela passe à 924 kg.ha⁻¹ pour une situation avec CC, soit une augmentation de 24%. Même sans CC, le type 1 utilise la plupart du fumier à sa disposition du fait que la majorité de leurs parcelles se trouvent sur des terroirs pluviaux et nécessitent un amendement de sol. L'augmentation est faible par rapport aux deux autres types qui sont de 43% pour le type 2 et 98% pour le type 3. Ce dernier connaît le plus de variabilité pour la raison qu'il possède, en général, de grandes superficies cultivables et qu' 'en situation avec CC, il est nécessaire d'optimiser la production. Souvent, le type 3 est contraint de s'approvisionner en fumier auprès des autres types pour subvenir à ses besoins.

Evolution de l'utilisation de la main d'œuvre

Pour une situation sans changement climatique, la quantité de travail requise pour l'obtention des valeurs de la marge brute est de 71 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour le premier type, 52 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour le type 2 et de 43 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour le type 3. Cette régression de l'utilisation de la main d'œuvre par type d'exploitation est liée au type d'outillage utilisé. Ainsi, le type 3 qui possède le plus de moyens mécaniques, utilise le moins de main d'œuvre dans les travaux agricoles. Par ailleurs, ces valeurs augmentent pour une situation avec un changement climatique. En effet, l'exploitant de type 1 utilise 75 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ en situation avec CC, soit une augmentation de 2%, 62hj.ha⁻¹.saison⁻¹ (+ 12%) pour le type 2 et 61 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour le type 3, soit 25%. Rappelons que le raccourcissement de la période de pluie entraîne une concentration des activités qui entraîne, à son tour, une augmentation du prix de la main d'œuvre. Pourtant, les exploitants de cette localité essayent de maximiser les profits en utilisant les moyens à leur disposition, et ce sont les exploitations de type 3 qui ont le plus de moyens économiques pour financer l'utilisation de main d'œuvre.

Evolution de la quantité d'urée utilisée

En termes d'utilisation d'urée, le type d'exploitation 1 utilise 17,73 kg.ha⁻¹ en situation sans changement climatique et passe à 23,27 kg.ha⁻¹ en situation avec CC, soit une augmentation de 31%. Pour le type 2, la quantité passe de 0,58 kg.ha⁻¹ à 11 kg.ha⁻¹ (62% d'augmentation par rapport à la valeur de référence). Le type 3 connaît le plus de variabilité avec 141% d'augmentation par rapport aux deux autres types d'exploitation. En effet, la quantité utilisée passe de 0,63 à 25 kg.ha⁻¹ de la situation sans CC vers une situation avec CC. Dans

une situation allant de plus en plus vers un raccourcissement de la période de pluie doublée d'une fréquente période de poche de sécheresse, tous les exploitants agricoles visent à maximiser la production. Cela consiste non seulement à utiliser le maximum de terres, mais également à intensifier l'utilisation des intrants agricoles. L'augmentation de l'utilisation de l'urée est ici dans le but d'accélérer le développement (la croissance) de la plante notamment lors de la pépinière de riz pour permettre un repiquage beaucoup plus vite.

Evolution de la quantité de NPK utilisée

Tout comme l'urée, l'utilisation de NPK dans la localité d'Ambatosoratra connaît également une augmentation avec une tendance vers un changement climatique. L'augmentation est plus ou moins similaire avec celle de l'urée car elle est de 31% pour le premier type, 63% pour le second et de 142% pour le type d'exploitation 3. Toutefois, la différence réside dans la quantité. Le NPK utilisée ne dépasse pas les 4 kg.ha⁻¹ quelle que soit le type d'exploitation considéré dans cette localité. Notons que cela représente moins de la moitié de la quantité maximale trouvée à l'échelle de la région ou la valeur de référence pour la situation actuelle.

Evolution de la quantité d'Herbicide utilisée

Les quantités d'herbicides utilisées augmentent également de la situation sans CC à la situation avec CC. Le type 2, par exemple, n'utilise pas de NPK pour la situation actuelle, alors que cela passe à 1,40 kg.ha⁻¹ pour une situation avec CC. La variation est beaucoup plus visible pour le type d'exploitation 3 car elle est étroitement liée à l'utilisation d'engrais. Si elle est de 0 kg.ha⁻¹ pour une situation sans CC, elle atteint 3,18 kg.ha⁻¹ pour une situation avec CC, soit une augmentation de presque plus de 140% par rapport à la référence. La fertilisation fait pousser non seulement les cultures, mais également les mauvaises herbes. Ainsi, le types 3 qui a le plus de variation en terme d'utilisation de fertilisants, notamment minérales, connaît également la plus grande variation en terme d'utilisation de herbicides. Notons que la quantité d'herbicides utilisée dans la localité d'Ambatosoratra pour les deux situations climatiques représente 45 à 80% de ce qui peut être trouvé à l'échelle régionale.

Evolution de la quantité d'Insecticides utilisée

L'utilisation de pesticides connaît également une augmentation pour les trois types d'exploitation de la localité d'Ambatosoratra, notamment pour le type 3. Ce dernier connaît une augmentation de 101% contre 30% pour le type 1 et 44% pour le type 2. Cette variation est due à l'utilisation des rizières au bord du lac, où se développent les insectes terricoles après le retrait de l'eau.

Amparihintsokatra

Marge brute

Pour une situation sans CC, la marge brute obtenue par le type d'exploitation 1 est de 1,38 millions d'Ar.ha⁻¹. Cela diminue à 1,13 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation avec CC. Pour le

type 2, elle est de 2,06 millions d'Ar.ha⁻¹ pour diminuer à 0,99.millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation avec CC. Le type 3 possède la plus faible variabilité de marge brute obtenue, malgré une diminution de cette valeur entre les deux types de situations climatiques. En effet, si elle est de 1,92 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation sans CC, elle tombe jusqu'à 1,36 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation avec CC. Cette diminution est étroitement liée à la fois à la diminution de la superficie cultivée, mais également à la production agricole en général en cas d'un raccourcissement de la période de pluie ou d'une poche de sécheresse. Ainsi, on peut dire que la sensibilité au changement climatique pour les exploitations de la localité d'Amparihintsokatra augmente au fur et à mesure que l'on passe du premier au troisième type.

Les valeurs de la marge brute des trois types d'exploitation obtenues dans la localité d'Amparihintsokatra varie entre 60 à 85% du maximale en situation sans CC et de 43 à 58 % du maximale pour la situation avec CC de la région.

Coût de production

Le coût de production dans la localité d'Amparihintsokatra varie entre 0,22 millions d'Ar.ha⁻¹ et 0,28 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation sans CC. Le type 2 a le moindre coût du fait de la faible utilisation de la main d'œuvre. Cette utilisation de la main d'œuvre est étroitement lié à l'occupation des sols et aux pratiques agricoles. Quelle que soit le type d'exploitation, la valeur du coût de production de cette localité connaît une augmentation pour une saison avec CC. Pour le type 1, l'augmentation est de 18% et est dûe à l'augmentation de l'utilisation des fertilisants minéraux, des herbicides et insecticides. Il augmente de 11% pour le type 2 à cause également de l'intensification agricole. En effet, il y a diminution de la superficie cultivée et notamment occupée par les cultures de rente, qui, dans la région en générale nécessite également beaucoup plus d'investissements. Toutefois, les efforts et investissement sont concentrés sur les terroirs où il y a des cultures. L'augmentation est de 4% pour le type 3. Ainsi, nous pouvons dire que bien que le coût de production soit le même, voire augmenté pour une situation sans changement climatique et une situation avec CC, la marge brute ou le bénéfice obtenu diminue toujours. Le raccourcissement de la période de pluie et les poches de sécheresse provoquent une diminution des rendements agricoles. Notons que le coût de production des trois types d'exploitations de la localité d'Amparihintsokatra se trouve entre 57% et 81% de la valeur maximale qu'on peut trouver à l'échelle régionale.

Main d'œuvre utilisée

La quantité de main d'œuvre utilisée par le type 1 est de 58 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour la situation actuelle. Elle est de 54 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour le type 2 et 86 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ pour le type 3. Bien que le type 3 possède des moyens mécaniques, la main d'œuvre utilisée est supérieure à celles des deux autres types car sa superficie cultivée est moindre (1,9ha) par rapport à

celles des autres (5,8 ha pour le type 1 et 4,9 ha pour le type 2). Ainsi peut-il effectuer beaucoup plus de travail dans l'entretien de cultures, notamment l'enlèvement de mauvaises herbes.

La quantité de main d'œuvre utilisée augmente avec le changement climatique pour le premier type d'exploitation. Elle passe à $69 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$ pour le type 1, soit une augmentation de 11%. Par contre, elle diminue de 3% (à $51 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$) pour le type 2 et de 2% (à $84 \text{ hj.ha}^{-1}.\text{saïson}^{-1}$) pour le type 3. Tout comme dans la localité d'Ambatosoratra, cela est dû à la concentration des activités agricoles entraînée par le raccourcissement de la période de pluie.

Quantité de fumier utilisée

Le type 1 utilise 315 kg.ha^{-1} de fumier pour une situation sans CC et il est le seul type à connaître une augmentation avec la variabilité climatique. Cette augmentation est de 14% car il est le seul à avoir de surplus de fumier non utilisé pour une situation sans CC. La quantité de fumier utilisée par le type 2 diminue de 412 à 391 kg.ha^{-1} , soit 3% de différence par rapport à la référence. Le mode d'occupation des sols pour ce type est à peu près le même pour les deux situations climatiques. La quantité utilisée par type 3 est stable à 668 kg.ha^{-1} pour la même raison que le second type d'exploitation. Nous pouvons dire que les types d'exploitations de cette localité essaient déjà d'utiliser la quantité de fertilisants organiques à leur disposition actuellement, ce qui pourrait être dû à une importante quantité de terroir pluvial. Ainsi essaient-ils d'optimiser la production en améliorant la capacité de retentions en eau des sols des *Tanety*.

Quantité d'urée utilisée

Le type d'exploitation 1 connaît la plus grande variabilité en termes de quantité d'urée utilisée quelle que soit la situation climatique : $0,41 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour la situation sans CC et 12 kg.ha^{-1} pour la situation avec CC, soit 1480% d'augmentation par rapport à la référence de la localité. Pour le type 2, la quantité utilisée est de $0,67 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour la première situation et $7,54 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour la seconde, soit 875% d'augmentation. Cela est dû à une diminution de la superficie cultivée et à une concentration des investissements sur les cultures mises en place. Le type d'exploitation 3 utilise non seulement le moins d'urée, mais également, la quantité utilisée est la même pour les deux situations climatiques.

NPK utilisé

Le NPK utilisé connaît également une augmentation entre une situation sans CC et une situation avec CC pour les trois types d'exploitation. En effet, la quantité de NPK utilisée passe de 0 kg.ha^{-1} à $1,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le type 1, de 0 kg.ha^{-1} à $0,88 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le type 2 et est stable à 0 kg.ha^{-1} pour le type 3. La quantité de NPK utilisée dans la localité

d'Amparihintsokatra se trouve entre 0 et 22% de la quantité maximale trouvée à l'échelle régionale.

Herbicide utilisée

Le taux d'herbicides utilisées connaît également une hausse entre une situation sans CC et avec CC: 28% pour le type 1 ; 4% pour le type 2 et la valeur est stable à 0 pour le type 3. Cette augmentation est toujours liée à l'utilisation de plus de fertilisants, à un raccourcissement de la période de pluie qui favorise le développement des mauvaises herbes et à une fréquente poche de sécheresse. Etant donné que la pluviométrie annuelle est à peu près la même, c'est au niveau de la fréquence de la pluie que se joue la concurrence entre les mauvaises herbes et la culture. Certaines mauvaises herbes se développent beaucoup plus rapidement que la culture et sont beaucoup plus résistantes à des poches de sécheresse.

Insecticide utilisé

Tout comme avec les autres intrants agricoles, l'utilisation d'insecticide connaît également une augmentation entre les deux situations climatiques. Elle est de 18% pour le premier type, 42% pour le second et reste stable pour la troisième. Elle est due à la diminution des superficies cultivées, notamment sur des terroirs pluviaux.

Tanambe

Marge brute

La marge brute obtenue par le type 1 pour une situation sans CC est de 1,54 millions d'Ar.ha⁻¹ et augmente de peu (1,66 millions d'Ar.ha⁻¹). Parmi toutes les exploitations de la région, et malgré la disposition des terroirs, le type 1 de cette localité présente non seulement le moins de variabilité en termes de marge brute entre les deux situations climatiques, mais affiche également une augmentation en cas de changement climatique. Ceci est dû à la conversion de certaines parcelles autrefois cultivées en riz en cultures de rente. Bon gré que ce type possède plus de 10ha de terrain, la superficie cultivée en situation sans CC est de 2,29 ha dont un ha alloué aux cultures de rente et 1,29 ha occupés par le riz en majorité de long cycle. Toutefois, ce type d'exploitation est très sensible à une variation climatique pour l'indicateur de production rizicole, avec une baisse de plus de 51% de la production en situation avec CC. Le type d'exploitation 2 connaît une diminution de 13% avec une marge brute allant de 1,56 à 1,33 millions d'Ar.ha⁻¹. La diminution de la marge brute obtenue est étroitement liée à la diminution de la production agricole en relation avec le raccourcissement de la période de pluie et notamment des poches de sécheresse. La diminution pour le type 3 est de 43%, soit une perte économique de 81 milles Ar.ha⁻¹ et qui est dû pour la même raison que pour le second type.

Coût de Production

Les coûts de production de la localité de Tanambe varie de 0,41 millions d'Ar.ha⁻¹ (type 2) à 54 millions d'Ar.ha⁻¹ (type 3) pour une situation avec CC, alors qu'elle est de 0,34 millions d'Ar.ha⁻¹ à 0,39 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation sans CC. Le premier type d'exploitations connaît une augmentation de 51% qui est surtout liée à l'augmentation de l'utilisation de fertilisants notamment de l'urée, de NPK et d'insecticides. Le second connaît également une augmentation de 7%. Par contre, le troisième type connaît une diminution de 4% dû à une diminution de la quantité de MO utilisée par unité de surface.

Main d'oeuvre

L'utilisation de la main d'oeuvre dans la localité de Tanambe est faible par rapport aux localités de l'Est. En effet, quel que soit le type d'exploitation, l'utilisation varie de 43 à 65 hj.ha⁻¹ pour les deux situations climatiques. Cela équivaut à environ 50 à 75% de ce qui est utilisée à l'Est. Cela est dû à l'accès à l'eau qui limite les effets de la concentration des activités en situation avec CC. Le type 1 connaît le plus de variabilité avec une augmentation de 46% de MO utilisée en cas de CC et il connaît également le plus de diminution en termes de superficies cultivées avec une diminution de 2,28ha.

Fertilisations

Le changement climatique fait diminuer de 100% la quantité de fumier utilisée pour le premier type d'exploitation. Cela est dû à une diminution de la superficie cultivée en riz au profit de la culture de rente. Par contre, les deux derniers types d'exploitation connaissent une augmentation de la quantité de fumier utilisée de 14% pour le second type et de 34% pour le dernier. Cette augmentation s'explique par une intensification de l'agriculture et à cause des moyens financiers à disposition.

Contrairement au fumier, la quantité d'urée utilisée par le type 1 connaît une augmentation de 213% en cas de changement climatique. Ceci s'explique par la maximisation de la production des cultures de rente pour pouvoir subvenir à la fois aux besoins alimentaire de la famille et pour assurer également les moyens financiers pour la prochaine saison culturale. Ce cas d'intensification de l'agriculture est également observé avec le type 3. Par ailleurs, le CC n'a pas beaucoup d'influence sur les valeurs des indicateurs de gestion du type 2 car l'écart entre les valeurs de la situation actuelle et celles avec un changement climatique est de 1%. Notons qu'en termes de fertilisation minérale, la quantité utilisée figure parmi les plus élevée de la région notamment pour le type 1 avec 61 kg.ha⁻¹ d'urée et 8 kg.ha⁻¹ de NPK utilisée.

Herbicide et insecticide

Proportionnellement à la quantité de fertilisants utilisée, l'utilisation d'herbicide augmente généralement avec le changement climatique, mais également au fur et à mesure que l'on

passer du type 1 au type 3. L'augmentation est respectivement de 35 et 15% pour le deuxième et troisième types. Par contre, elle diminue de 5% avec le premier type. La quantité utilisée figure parmi les plus élevées des quatre localités étudiées avec en moyenne $1,44 \text{ kg.ha}^{-1}$. Par ailleurs, l'utilisation d'insecticides connaît également une augmentation de 199% pour le type 1, 69% pour le second et inférieure à 10% pour le type 3.

Vohitsara

Marge brute

La marge brute des trois types d'exploitation de la localité de Vohitsara varie entre 1,40 millions d'Ar.ha⁻¹ et 1,49 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation sans CC, et entre 0,79 millions d'Ar.ha⁻¹ et 0,96 millions d'Ar.ha⁻¹ pour une situation avec CC. Le type 3 connaît le plus de perte avec 57%, soit l'équivalent de 620 mille Ar.ha⁻¹ entre les deux situations. Ceci est dû à la distribution des terroirs. En effet, la majorité des parcelles du type 3 se trouvent sur des terroirs irrigués et en particulier sur les terroirs au bord du lac pour la localité de Vohitsara. Avec une quantité de pluie qui ne diminue pas mais plutôt la fréquence, l'on assiste à une remontée rapide des eaux du lac. Les terroirs situés au bord du lac sont ainsi les plus sensibles à cette dernière. Par contre, le type 1 est le moins sensible (un écart de 29% entre les deux situations climatiques) car la majorité de leurs parcelles se trouvent sur des terroirs pluviaux, donc moins sensibles à la remontée des eaux. Pour une situation sans CC, quel que soit le type d'exploitation considéré, la marge brute obtenue dans cette localité est la plus faible parmi les quatre localités. En effet, leur production est focalisée sur la culture du riz, car plus de 90% de la superficie cultivable sont des rizières.

Main d'œuvre

La quantité de main d'œuvre utilisée pour une situation sans CC varie de 46 hj.ha⁻¹.saison⁻¹ à 72 hj.ha⁻¹.saison⁻¹. En général, la quantité de MO utilisée connaît une augmentation avec le changement climatique. En effet, l'augmentation est de 7% pour le premier type et 18% pour le second type. Cette augmentation est étroitement liée à la concentration des activités culturales. Et, contrairement à ce qui se passe avec les deux précédents types, en cas de changement climatique, la quantité de main d'œuvre utilisée pour le type 3 connaît une diminution de 10%. Cette diminution est liée à celle de la superficie occupée par la substitution des cultures de rente (qui nécessitent en général beaucoup plus de main d'œuvre) par des cultures vivrières. Notons que la main d'œuvre utilisée dans la localité de Vohitsara est entre 47 à 73% de la maximale qu'on peut trouver dans le lac Alaotra.

Coût de production

Pour une situation sans CC, le coût de production associée à la valeur de la marge brute obtenue dans la localité de Vohitsara varie de 1,40 millions d'Ar.ha⁻¹ à 1,49 millions d'Ar.ha⁻¹. Pour une situation avec CC, le coût de productions du type 3 connaît une augmentation de 3%, ce qui s'explique par l'augmentation des fertilisants et de la main d'œuvre utilisés. Celui

du second type augmente de 2% dû à l'utilisation de beaucoup plus d'insecticides (34%). Le coût de production pour le type 1 connaît le plus d'augmentation avec 13% à cause du changement du mode d'occupation des sols. Les coûts de production de la localité de Vohitsara se trouvent entre 21 et 31% de la valeur de référence de la région qui représente les 100%.

Fumier

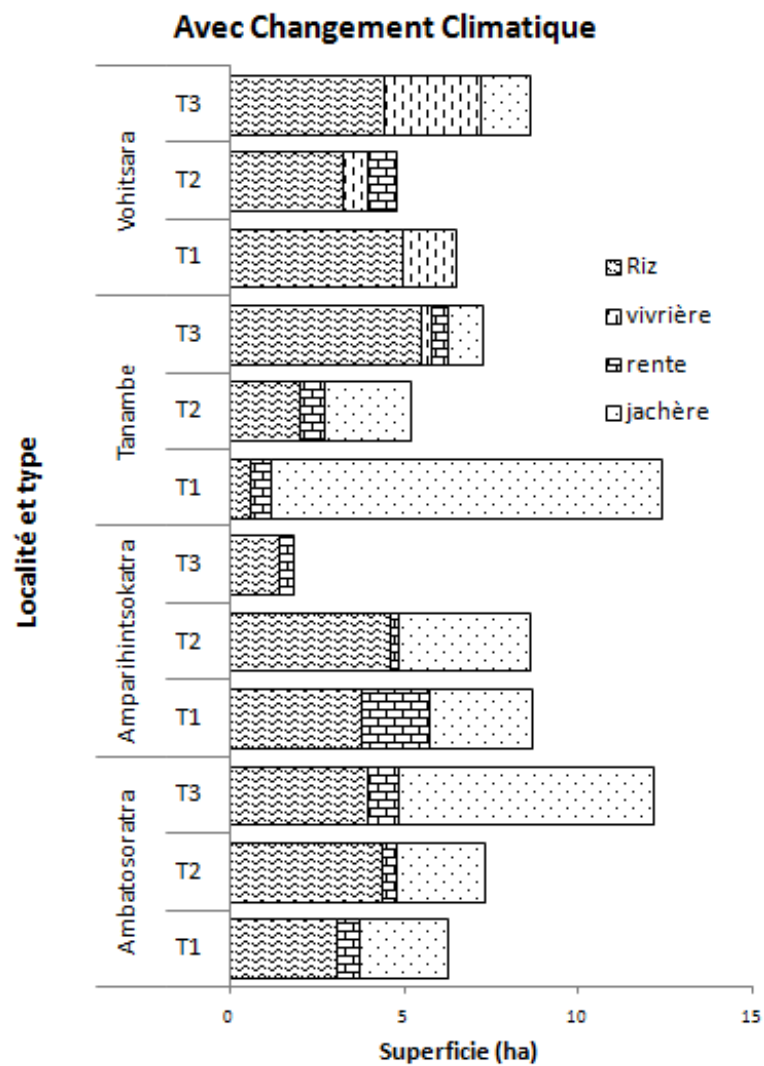
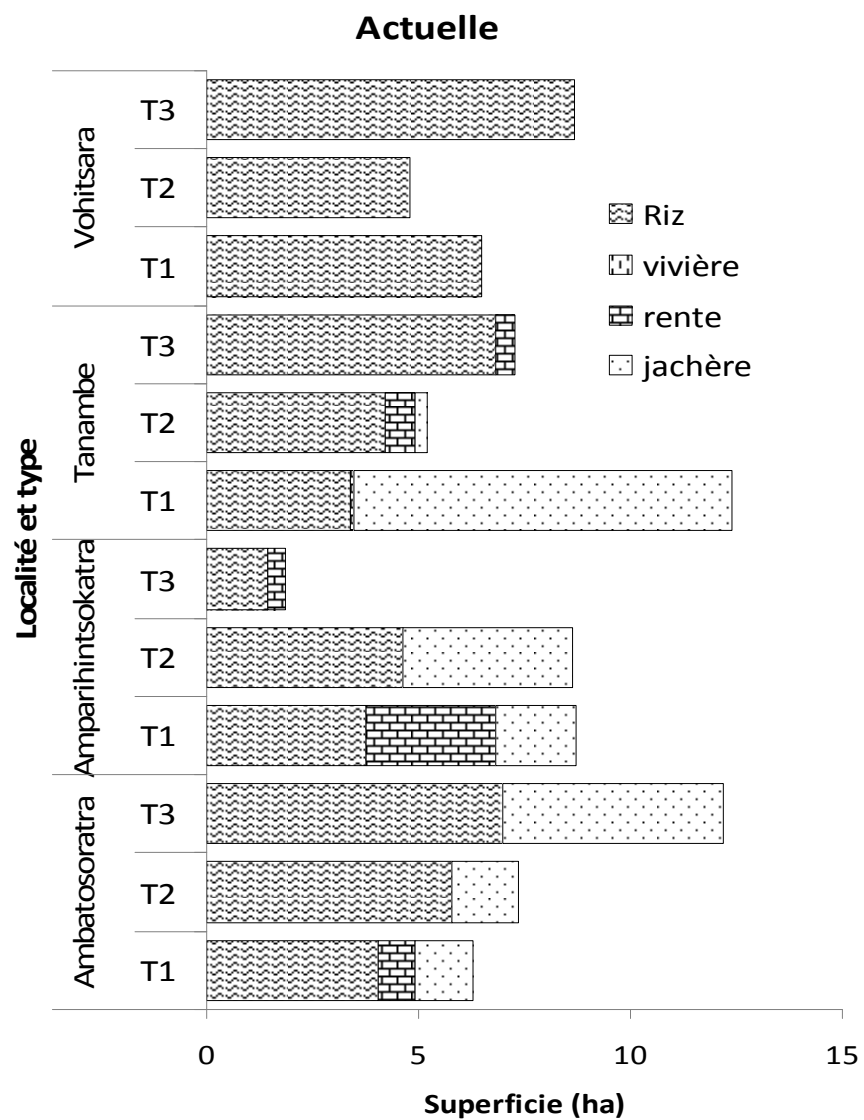
Les types d'exploitation de Vohitsara utilisent la plus faible quantité de fumier tant pour une situation sans CC que pour une situation avec CC. En effet, la quantité de fumier utilisée se situe entre 23 et 39% de la quantité maximale de la valeur de référence qui est de (745 kg.ha⁻¹) en tenant compte des quatre localités ; et entre 25 à 33 % pour une situation avec CC. En général, on assiste à une augmentation de 0 à 16% de la quantité de fumier utilisée en cas de changement climatique. Ceci s'explique par une tendance vers la mécanisation de l'agriculture dans cette localité. Le raccourcissement de la période de pluie doublé du vol de bœufs entraîne un investissement de la plupart des exploitations agricoles en moyens motorisés. Ce type de moyen est non seulement beaucoup plus rapide en termes de travaux agricoles mais présente également moins de risque de vol. Ainsi, la quantité de fumier disponible diminue de plus en plus.

Fertilisation minérale

La localité de Vohitsara présente le moins de variabilité en terme d'utilisation d'urée entre les deux situations climatiques (inférieure à 20% quel que soit le type d'exploitation). La quantité utilisée est également la plus faible des quatre localités (environ 4,94,± 1,95 kg.ha⁻¹). Le type 3 connaît le plus de variabilité: 6,64 kg.ha⁻¹ de NPK utilisé pour une situation sans CC contre 7.14 kg.ha⁻¹ pour une situation avec CC. L'écart est lié au mode d'occupation des sols (le CC entraîne une conversion des certaines parcelles rizicultivées en cultures vivrières).

Herbicide et Insecticide

Les trois types d'exploitation connaissent soit une stagnation, soit une diminution de la quantité d'herbicides utilisée entre les deux situations climatiques. La diminution est aperçue avec le second type et le type 3 (23% de chaque). Quant à l'utilisation d'insecticides, le second type connaît une augmentation de 16% et le troisième type une diminution de 8%. L'augmentation est due à l'augmentation des parcelles cultivées par des cultures de rente (de 0,1 ha à 1,43 ha) et la diminution est causée par la conversion de parcelles rizicultivée en cultures vivrières telle que le manioc.



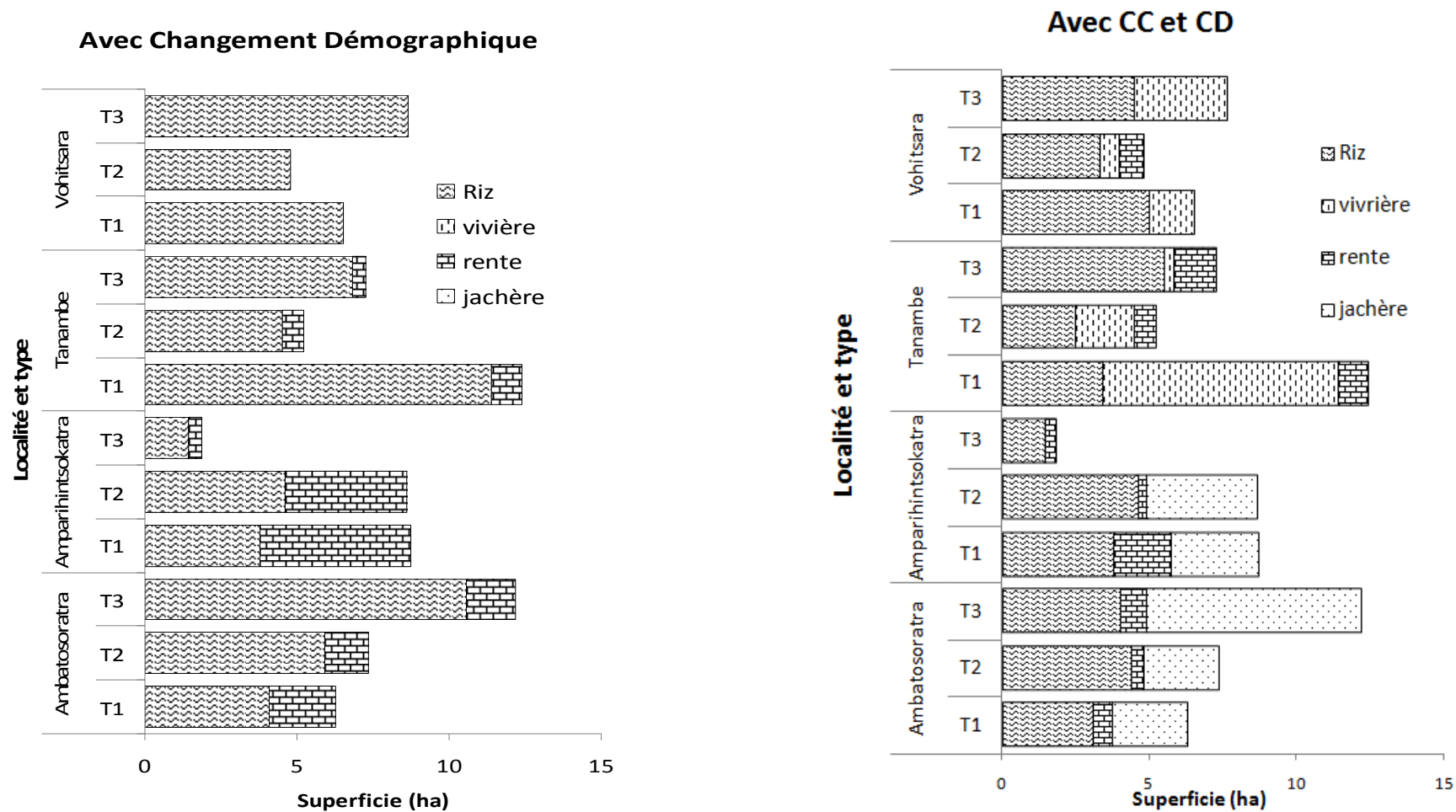


Figure 5-15 Evolution de l'occupation des sols à l'échelle de l'exploitation agricole pour quatre scénarii climatique

(a) la situation actuelle, le scénario avec changement climatique(b), le scénario avec changement démographique, et le scénario avec changement climatique et démographique.

III.4- Scenario avec un changement démographique

III.4.1- Evolution à l'échelle régionale

III.4.1.1- Changement du mode d'occupation des sols en fonction du changement démographique

Du point de vue de l'occupation des sols deux points sont à mentionner :

- Le changement démographique permet de cultiver plus de surfaces, c'est-à-dire que la superficie en jachère diminue au fur et à mesure que la population augmente (Figure 5-16).
- Les localités de l'Est du lac s'orientent de plus en plus vers les cultures de rente, tandis que les localités de l'Ouest orientent leur production vers la monoculture de riz. Etant donné l'absence de barrage et la distribution des terroirs dans l'Est, l'augmentation démographique permet aux exploitants de cette partie de la région d'obtenir beaucoup plus de main d'œuvre disponibles. Ainsi, il leur est beaucoup plus bénéfique de focaliser la production sur les cultures de rente. Par contre, l'abondance de parcelles irriguée dans l'Ouest favorisée par l'accessibilité à l'eau (grâce à un barrage de retenue) leur permet de miser sur la riziculture.

III.4.1.2- Evolution des indicateurs de production en fonction du changement démographique

Quelle que soit la localité, l'augmentation démographique entraîne une augmentation de la quantité de main d'œuvre utilisée. L'augmentation varie de 21 à 47% selon la localité. La localité d'Ambatosoratra connaît la plus faible augmentation, et celle de Vohitsara la plus forte. Cette augmentation est liée à la disponibilité de la main d'œuvre. Le changement démographique sous-entend une augmentation du nombre de la population et, parallèlement une augmentation du nombre de MO disponibles (Figure 5-17).

En ce qui concerne la marge brute obtenue, la localité d'Ambatosoratra est la seule localité à connaître une diminution (2%) avec le CD, du fait qu'actuellement la plupart des terres cultivables sont utilisées, et une augmentation démographique ne fait qu'augmenter le coût de production (issu du coût de la main d'œuvre), alors que la production augmente de peu (Figure 5-17). Par ailleurs, la marge brute des autres localités connaissent une augmentation variant de 6 à 23% selon la localité. La localité de Tanambe connaît le plus de variabilité car elle dispose déjà d'une bonne maîtrise d'eau à cause de la présence de barrage et l'importante quantité de terroirs irrigués. Le changement démographique, par le biais de l'augmentation du nombre de la MO, entraîne un meilleur entretien des cultures (notamment pour les travaux utilisant beaucoup plus de MO comme le repiquage, le desherbage et la collecte) permettant ainsi une bonne production.

Le coût de production augmente de 5 à 6% pour les trois premières localités (Ambatosoratra, Amparihintsoakatra, Tanambe), tandis que cela atteint les 29% pour la localité de Vohitsara. Cela dépend surtout de la variation de la main d'œuvre utilisée.

Le CD entraîne une diminution de la production rizicole pour les deux localités de l'Est (respectivement de 7 et 12% pour les localités d'Ambatosoratra et Amparihintsoakatra). Par contre, une augmentation de la valeur de cet indicateur est observée pour les deux localités de l'Ouest. Elle est de 27% pour Tanambe et 20% pour Vohitsara. Cela se justifie par la répartition des terroirs selon les localités. Celles de l'Est sont dominées par des terroirs pluviaux dont la majeure partie sont cultivées en riz. Pourtant, avec l'augmentation démographique, la plupart des exploitants agricoles concentrent leurs efforts sur des cultures de rente, et ceci au détriment de la riziculture. Par contre, les localités de l'Ouest, dominées par des plaines, sont sensibles au CD (effet positif). Cela provient de l'augmentation de la production en fonction de l'augmentation démographique.

En termes de fumier utilisé, la localité d'Amparihintsoakatra est la plus sensible au CD avec 35% d'augmentation, car celle-ci dispose de la plus de *Tanety*, un terroir à faible productivité agricole. L'augmentation du nombre de la population oblige les paysans à exploiter ce type de terroir. Ainsi, il est nécessaire d'y apporter du fumier pour sa valeur amendante. Par ailleurs, la quantité de fumier utilisée dans les autres localités varie de peu (0,02% à 0,07%) par manque de fumier disponible. Il est à noter également que la quantité de fumier utilisée dans les localités de l'Est est supérieure à celle utilisée à l'Ouest (supérieure à 700 kg.ha⁻¹ contre inférieure à 500 kg.ha⁻¹ pour une situation avec un changement démographique).

Le CD n'a pas beaucoup d'influence sur l'utilisation de fertilisants minéraux. En effet, la variation est inférieure à 6% quels que soit la localité et le type d'intrant utilisé. Toutefois, on aperçoit une diminution de la quantité de fertilisants minéraux utilisée avec le changement démographique. Cette diminution varie de 0 à 10%. La localité d'Ambatosoratra utilise le plus d'urée pour accélérer le processus de développement de la plante quelle que soit la situation. La localité de Vohitsara utilise le plus de NPK à cause de la place occupée par le riz et de la distribution des terroirs dans cette localité.

Le CD entraîne également une diminution de l'utilisation d'herbicides (de 3 à 11% selon la localité) car les exploitants agricoles, grâce à beaucoup plus de main d'œuvre disponibles, préfèrent utiliser cette potentialité que d'utiliser de l'herbicide. Ainsi, l'enlèvement de mauvaises herbes se fait manuellement. La localité de Tanambe utilise le plus d'herbicides car l'accessibilité à l'eau entraîne également le développement de mauvaises herbes (en parallèle avec le développement des plantes).

Tout comme la fertilisation minérale, le changement démographique a peu d'influence sur l'utilisation d'insecticides quelle que soit la localité (inférieure à 4%). En effet, la variation de

la quantité d'insecticides utilisée dépend beaucoup plus du changement climatique que du changement démographique.

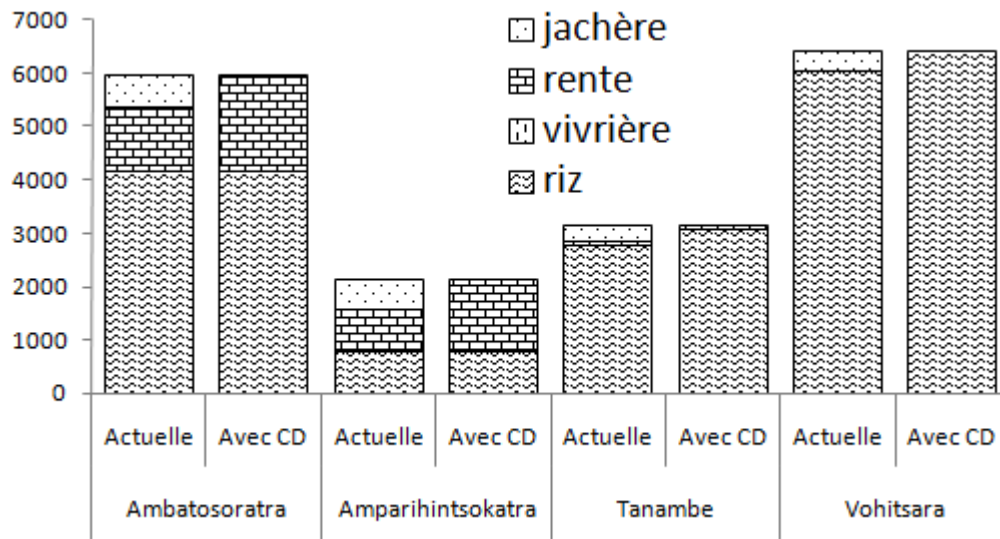


Figure 5-16 : Changement d'occupation des sols des quatre localités étudiée en fonction d'un changement démographique

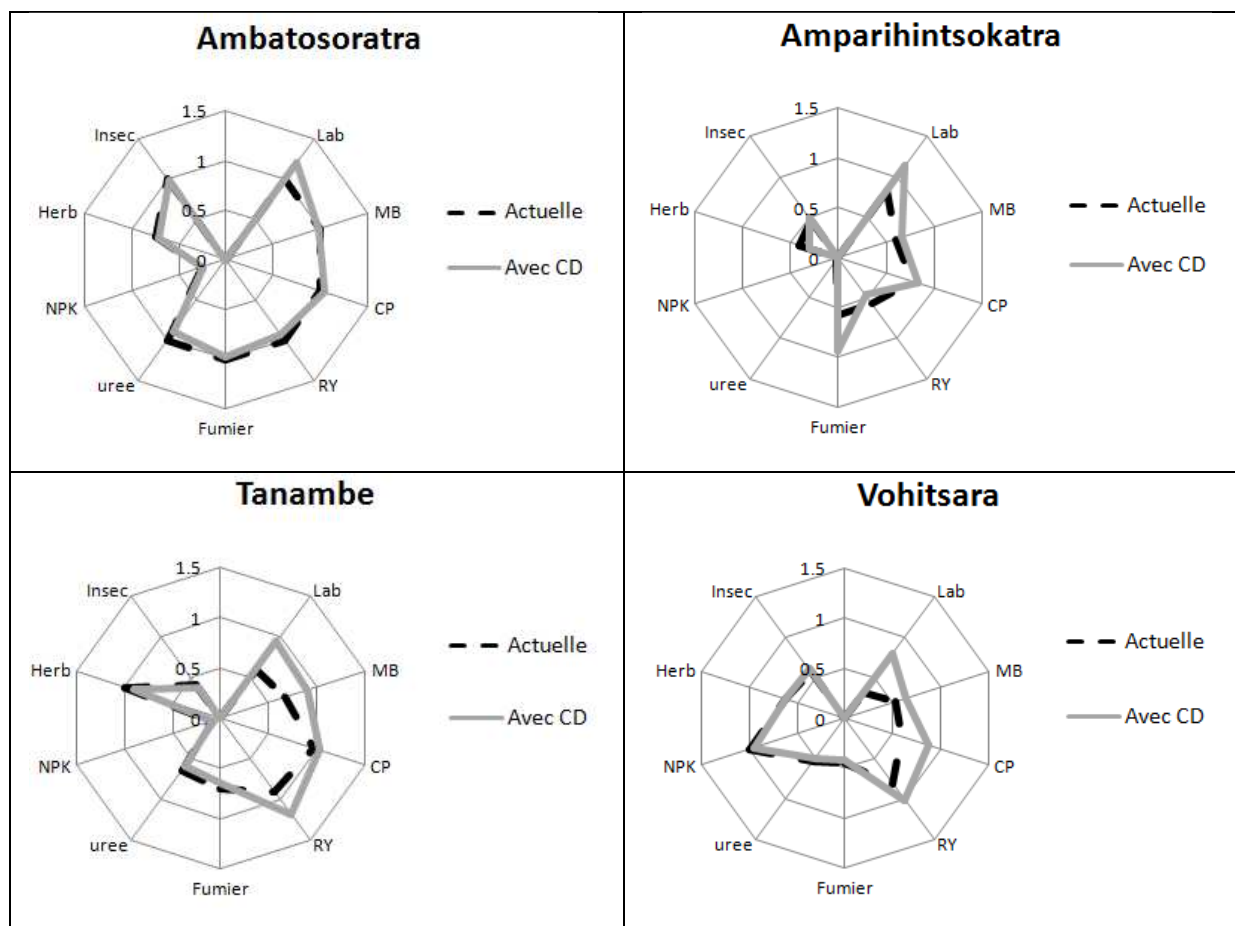


Figure 5-17 : Evolution des indicateurs de production des quatre localités étudiées en fonction d'un changement démographique

III.4.2- Evolution à l'échelle de l'exploitation

III.4.2.1- Changement du mode d'occupation des sols pour un scenario de changement démographique

Avec le changement démographique, toutes les superficies cultivables sont cultivées. Le changement démographique oblige la population à utiliser le maximum de terres malgré les difficultés (faibles rendements sur les *Tanety*, coût élevé) (Figure 5-15). Ce changement est surtout visible avec tous les types d'exploitation des localités de l'Est qui sont non seulement dépourvues de barrage, mais aussi composées essentiellement de terroirs pluviaux. Il est également visible pour le type d'exploitation 1 de la localité de Tanambe, dont, la superficie cultivable est de plus de 10ha. Ce type d'exploitation, dont les moyens sont limités n'arrive pas à cultiver toutes ses terres pour la situation actuelle. Par contre avec le changement démographique, il y aurait beaucoup plus de main d'œuvre qui permettrait de travailler toutes les surfaces disponibles. En termes de changement d'usage des terres, les superficies non cultivées des localités de l'Est sont converties essentiellement en des parcelles de cultures de rente et un peu en riz à cause de la sécurité alimentaire. Quant aux exploitations des localités de l'Ouest, la conversion se fait plutôt au profit de la culture de riz, qui donne beaucoup plus d'intérêt économique à cause des rendements élevés.

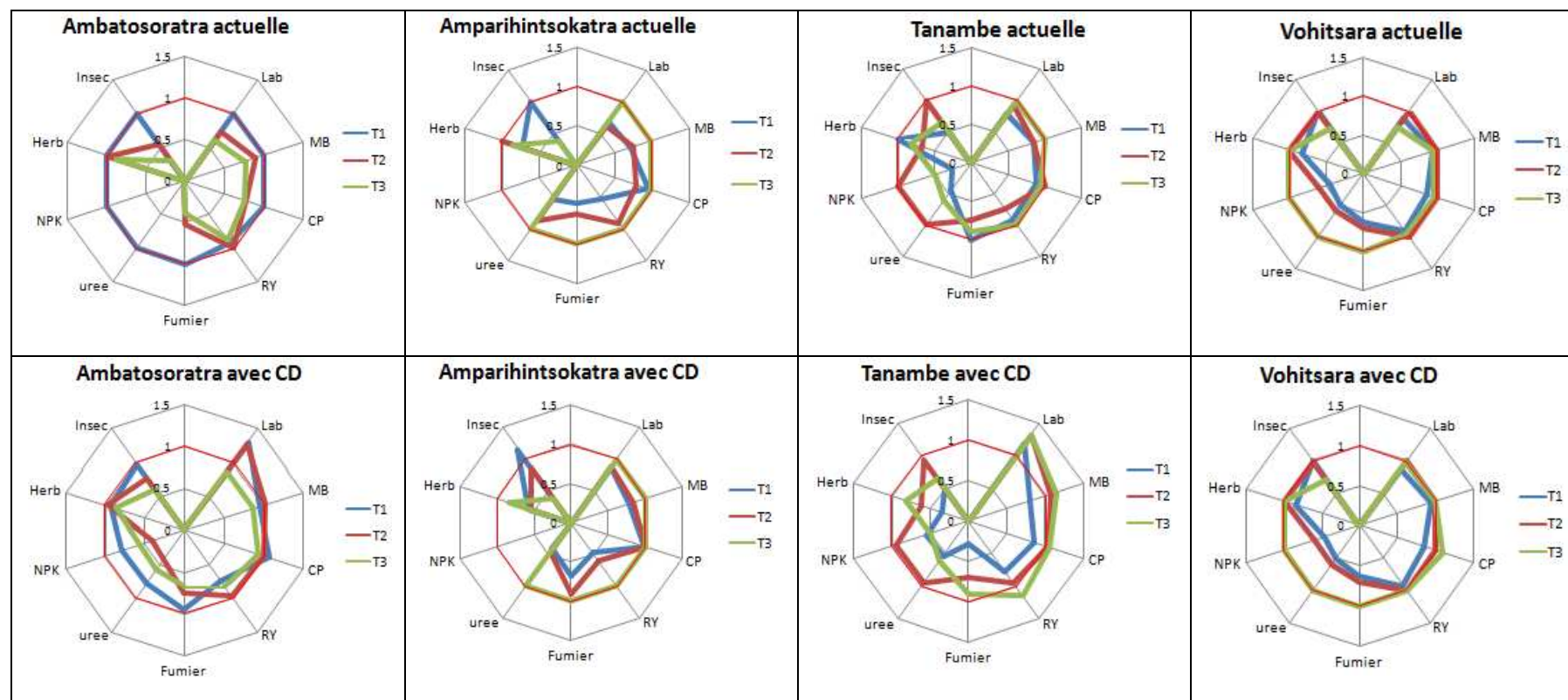


Figure 5-18 : Evolution des indicateurs de production en fonction d'un changement démographique à l'échelle de l'exploitation agricole.

III.4.2.2- Variation des indicateurs de production au niveau des exploitations avec le changement démographique

En général, le changement démographique affiche peu d'influence par rapport au changement climatique. Toutefois, il y a toujours des exceptions. C'est le cas de la localité d'Ambatosoratra qui connaît une intensification agricole par le biais de l'utilisation de beaucoup plus d'engrais minéraux. Il y a également l'augmentation de la quantité de fumier utilisée pour le cas de la localité d'Amparihintsokatra. Pour la localité de Tanambe, le CD entraîne une diminution de la quantité de fumier utilisée par unité de surface, car la superficie cultivée augmente alors que la quantité de fumier disponible reste la même, et peut diminuer à cause de l'insécurité et l'utilisation de plus en plus de moyens mécaniques (Figure 5-18).

Main d'œuvre

Le changement démographique entraîne une utilisation de beaucoup plus de main d'œuvre. L'augmentation varie de 22 à 45% pour les types d'exploitation de la localité d'Ambatosoratra, inférieure à 25% pour ceux de la localité d'Amparihintsokatra, entre 21 et 25% pour ceux de Tanambe et inférieur à 17% pour la localité de Vohitsara (Figure). Cela s'explique par la disponibilité en main d'œuvre et par le mode d'occupation des sols. L'augmentation démographique sous entend généralement une augmentation de la main d'œuvre disponible. Par ailleurs, la pression démographique entraîne une extension de la superficie cultivée et requiert ainsi beaucoup plus de main d'œuvre.

Pour une situation avec un changement démographique, les types 1 et 2 de la localité d'Ambatosoratra utilisent le plus de main d'œuvre avec respectivement de $92 \text{ et } 90 \text{ hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$, dû à l'augmentation du nombre de main d'œuvre disponible et le changement au mode d'occupation des sols. Pour la localité d'Amparihintsokatra, la MO varie de 74 à 85 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ pour une situation avec CD, si elle était entre 53 et 85 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ actuellement. Pour le cas de Tanambe, la MO utilisée varie entre 64 à 72 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ pour une situation avec CD si cela varie entre 43 et 55 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ actuellement. La MO utilisée par la localité de Vohitsara connaît le moins de variabilité car seul le type 3 connaît une augmentation. Si elle est de 46 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ pour une saison normale, elle atteint les 60 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ pour une situation avec CD. Celles des deux premiers types restent stables avec le CD (54 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ pour le premier type et 62 $\text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$ pour le second type).

Les localités de l'Est utilisent beaucoup plus de main d'oeuvre (supérieure à $74 \text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$) par rapport aux localités de l'Ouest (inférieure à $72 \text{hj.ha}^{-1} \cdot \text{saïson}^{-1}$). Cela se justifie par le développement de la mécanisation dans la partie Ouest du lac. Et le type 2 de la localité d'Ambatosoratra connaît le plus de variabilité en MO entre les deux situations (avec et sans CD)

Marge brute

L'augmentation démographique entraîne également une augmentation de la marge brute obtenue pour les types 2 et 3 de la localité d'Ambatosoratra sauf pour le type d'exploitation 1 qui connaît une diminution de 6%. La diminution vient du fait de l'augmentation du coût de production. Par contre, l'augmentation se justifie par le phénomène inverse, c'est-à-dire une augmentation du coût de production. Notons que le type 1 de cette localité obtient le plus de marge brute avec le changement démographique à cause de la présence de plusieurs terroirs qui permet de diversifier les cultures. Pour le cas de la localité d'Amparihintsoakatra, l'augmentation est de 6% pour le premier et second type d'exploitation. Toutefois, le second type gagne beaucoup plus que le premier (1,61 millions d'Ar.ha⁻¹ contre 1, 51 millions d'Ar.ha⁻¹ pour la situation avec CD). La marge brute obtenue par le type 3 est stable à 1,92 millions d'Ar.ha⁻¹ quelle que soit la situation. En termes de marge brute totale par exploitation, le type 2 est le plus sensible à l'augmentation démographique avec un écart de 7 millions d'Ar.ha⁻¹ pendant une saison.

Tout comme la localité d'Ambatosoratra, le type 1 de la localité de Tanambe est le seul type qui connaît une diminution de la marge brute obtenue avec le changement démographique. Cette diminution est de l'ordre de 3% soit 70 milles Ar.ha⁻¹ de perte économique. Par contre, les deux autres types connaissent une augmentation de 17% pour le type 2 et de 10% pour le type 3.

Les marges brutes obtenues par les deux premiers types d'exploitation de la localité de Vohitsara ne changent pas entre les deux situations. Toutefois, la différence réside dans la valeur obtenue par chaque type d'exploitation : le premier gagne le moins avec 1, 4 millions d'Ar.ha⁻¹ contre 1, 49 millions d'Ar.ha⁻¹ pour le type 2. Par ailleurs le type 3 connaît une faible augmentation de 3% (soit 0,07 millions d'Ar.ha⁻¹ d'écart) entre les deux situations. Cela résulte du fait que tout le CD n'a pas d'impact sur le mode d'occupation des sols et sur la marge brute obtenue, ainsi que sur les autres indicateurs. En effet, actuellement, toutes les surfaces disponibles de la localité de Vohitsara sont utilisées et que les trois types d'exploitations existant dans la région optimisent déjà les moyens à leur disposition du point de vue économique (maximisation de la marge brute).

Coût de production

En général, le coût de production des différents types d'exploitation reste stable ou augmente avec le changement démographique. Cette augmentation est de 6 à 21% pour les types d'exploitation de la localité d'Ambatosoratra, de 2 à 16% pour ceux d'Amparihintsoakatra, inférieure à 10% pour ceux de Tanambe et de Vohitsara. Cette augmentation est due surtout au coût élevé d'exploitation des terroirs pluviaux en cas de mise en culture, c'est-à-dire un surplus de coût occasionné par l'utilisation de beaucoup de fertilisation ou de pesticide ainsi que de plus de main d'œuvre. Notons que le type 2 de la

localité d'Ambatosoratra est le plus sensible à l'augmentation du nombre de la population avec une augmentation de 21% entre les deux situations (actuelle et avec CD), et que le premier type de la localité de Tanambe est le moins sensible avec une diminution de 4% par rapport à la situation actuelle. Cette diminution est due à la conversion de certaines parcelles cultivée en riz en d'autres cultures vivrières.

Fumier

En termes de quantité de fumier utilisée, la majorité des exploitations des localités de l'Est connaissent une augmentation. L'écart varie de 18 à 29%, soit l'équivalent de 171 kg.ha⁻¹ à 214 kg.ha⁻¹. Par contre, les exploitations des localités de l'Ouest connaissent une stagnation, voire une diminution de la quantité de fumier utilisée par unité de surface, une diminution pouvant aller jusqu'à 45% soit 335 kg.ha⁻¹. Le type d'exploitation 3 de la localité d'Ambatosoratra est le plus sensible en termes d'augmentation (29%) du fait de la conversion des parcelles situées sur les terroirs pluviaux (qui sont généralement non cultivée actuellement), en terrains de culture. Et le premier type d'exploitation de la localité de Tanambe connaît le plus de diminution de 45%. Étant donné que la quantité de fumier disponible dans les localités de l'Ouest est très limitée (à cause de la diminution du nombre de bovins), en cas de changement démographique, cette quantité est distribuée sur toutes les parcelles cultivées. Ainsi la quantité utilisée par unité de surface diminue.

Urée

La quantité d'urée utilisée diminue de 7% pour le type d'exploitation 1 de la localité d'Ambatosoratra, à cause de la diminution des superficies cultivées en riz. Par contre, elle augmente de 29 à 40% pour les deux autres types d'exploitation à cause de la mise en culture des jachères par des cultures de rente et de riz. Notons que la quantité maximale utilisée dans localité d'Ambatosoratra est à 74% de celle trouvée à l'échelle régionale.

La localité d'Amparihintsokatra utilise le moins d'urée tant pour la situation actuelle que pour la situation avec CD. En effet, la quantité d'urée utilisée est inférieure à 1 kg.ha⁻¹ soit 3% de la quantité maximale utilisée à l'échelle régionale. Cela vient du fait que la conversion des terres s'est tournée vers les cultures de rente qui ne nécessitent pas beaucoup d'utilisation d'urée. A cela s'ajoute que les paysans préfèrent limiter l'utilisation de l'urée dans le but d'éviter autant que possible l'utilisation des fertilisants minéraux pour ne pas être dépendants dans les années qui suivent.

Pour la localité de Tanambe, la quantité d'urée utilisée est entre 13 kg.ha⁻¹ et 23 kg.ha⁻¹ pour la situation actuelle. Cela passe entre 10 kg.ha⁻¹ et 24 kg.ha⁻¹ pour la situation avec un changement démographique. La quantité d'urée utilisée par unité de surface pour le type 1 connaît une augmentation de 10%. Toutefois la quantité totale d'urée utilisée durant une saison reste la même. Les types 2 et 3 connaissent également une stagnation au niveau de la

quantité totale d'urée utilisée durant une saison, ce qui se traduit par une diminution par unité de surface. Notons que le type 2 de cette localité utilise le plus d'urée parmi les différents types d'exploitation au niveau des quatre localités étudiées avec 24 kg.ha^{-1} .

La localité de Vohitsara connaît le moins de variabilité d'utilisation d'urée entre la situation actuelle et la situation avec un changement démographique. En effet, les quantités utilisées par les différents types sont les mêmes pour les deux situations. Elle est de $3,67 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le premier type ; $4,31 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le second type et de $7,28 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le troisième type. Cela varie entre 15 et 30% du maximale observée à l'échelle régionale.

NPK

Actuellement, les exploitations de la localité de Vohitsara utilisent le plus de NPK de toute la région avec $3,01 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le type un, $3,98 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le second type et $6,64 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le type 3. Par ailleurs, les exploitations de la localité d'Ambatosoratra connaissent le plus de variabilité au changement démographique. Cela varie de 7 à 19%. L'utilisation de ce type d'engrais dépend des moyens financiers et, des types de terroirs existants et de cultures mise en place. Le changement démographique n'a pas d'influence sur la quantité de NPK utilisée pour les types d'exploitation de la localité de Vohitsara car les exploitants pratiquent la même itinéraire technique et que la superficie cultivée est la même ainsi que les cultures également. Les types d'exploitations de la localité d'Amparihintsokatra n'utilisent pas de NPK aussi bien pour la situation actuelle que pour une situation avec un CD. Cela se justifie par les moyens dont disposent les exploitants agricoles et par croyance que « les fertilisants minéraux créent une situation de dépendance ». Ainsi, malgré la conversion d'une partie des terroirs (les *Tanety*) qui sont actuellement non cultivés en cultures de rente, les exploitants préfèrent ne pas utiliser de NPK. C'est également pour une question de rentabilité économique. La quantité de NPK utilisée dans la localité de Tanambe varie de $0,68 \text{ kg.ha}^{-1}$ à $2,69 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour la situation actuelle et passe entre $1,48 \text{ kg.ha}^{-1}$ à $2,54 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour une situation avec CD. Une augmentation de 12 % est alors constatée pour le premier type d'exploitation à cause de l'extension des terres cultivées alors que les moyens à disposition sont limités. Par contre l'on observe une diminution de 2% pour le second type et une stagnation pour le type 3 est observée. La disponibilité de moyens constitue la cause pour les deux derniers types d'exploitation. En effet, la contrainte démographique oblige les exploitants des localités de l'Ouest à investir beaucoup dans le but d'augmenter la production agricole et d'assurer la sécurité alimentaire.

On peut trouver également les mêmes aspects au niveau régionale, c'est-à-dire que les localités situées sur la rive Est utilisent moins de fertilisants minéraux que celles de l'Ouest.

Herbicide

La quantité maximale d'herbicides utilisée à l'échelle régionale quel que soit le type d'exploitation, est de $1,6 \text{ kg.ha}^{-1}$. Cela correspond à la quantité utilisée par le premier type d'exploitation de la localité de Tanambe pour la situation actuelle. Généralement, la quantité utilisée par les types d'exploitation diminue entre la situation actuelle et la situation avec changement démographique. Cela dépend des moyens financiers, du mode d'occupation des sols et de la répartition des terroirs. Pour la localité d'Ambatsosoratra, si cela varie de $0,85 \text{ kg.ha}^{-1}$ à $0,97 \text{ kg.ha}^{-1}$, elle connaît une diminution de 1 à 5% selon le type d'exploitation. Le type 1 est le plus sensible. Pour la localité d'Amparihitsokatra, la quantité utilisée varie de $0,66 \text{ kg.ha}^{-1}$ à $0,91 \text{ kg.ha}^{-1}$ et connaît une diminution de 0 à 26%. Le type 2 est le plus sensible dans cette localité. Pour la localité de Tanambe, la quantité varie entre $1,06 \text{ kg.ha}^{-1}$ à $1,60 \text{ kg.ha}^{-1}$ et connaît une diminution de 0 à 65% pour une situation avec un changement démographique. Le type d'exploitation 1 y est le plus sensible. Tout comme pour le cas des fertilisants minéraux, la quantité d'herbicides utilisée par les différentes exploitations de la localité de Vohitsara ne change pas entre la situation actuelle et la situation avec un CD. Elle est de $0,70 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour le premier type, de $0,84 \text{ kg.ha}^{-1}$ de chaque pour le second et le troisième types. La diminution se justifie par la minimisation des dépenses car la plupart des travaux de désherbage se font manuellement avec l'augmentation du nombre de la population. Ainsi, la quantité d'herbicide utilisée diminue également.

Insecticide

Le type d'exploitation 1 de la localité de Tanambe utilise le plus d'insecticides parmi les types existants de toute la région avec $2,2 \text{ kg.ha}^{-1}$. Généralement, les types d'exploitation des localités situés à l'Ouest du lac ne connaissent pas de grandes variations entre la situation actuelle et la situation avec CD. Ces variations se manifestent généralement par une diminution ou par une stagnation. L'écart y est inférieur à 4%. Par contre, ceux des localités de l'Est connaissent une grande variabilité pouvant atteindre jusqu'à 39% et cela se manifeste généralement par une augmentation de la quantité d'insecticides utilisée. C'est le cas du second type d'exploitation de la localité d'Amparihintsokatra. L'augmentation dans la partie Est de la région se justifie par la mise en culture des *Tanety*.

III.5- Scenario avec un changement climatique et un changement démographique

III.5.1- Changement du mode d'occupation des sols à l'échelle de la région

Trois points peuvent être retenus dans l'occupation des sols pour une situation avec la combinaison de changement démographique et changement climatique à l'échelle de la région :

- L'effet du changement climatique domine sur l'effet du changement démographique dans la partie Est du lac. En effet, les mêmes occupations des sols avec les effets du changement climatique sont encore visibles dans les deux localités étudiées : cela se manifeste par une diminution de la superficie cultivée (40 à 43% des la superficie cultivable sont converties en jachère). Cela se justifie par la dominance des terroirs pluviaux dans la région (Figure 5-19).
- Les effets combinés du CC et CD entraînent une conversion de la superficie non cultivée et une partie de la superficie occupée par du riz en cultures de rentes et surtout en cultures vivrières dans la partie Ouest du lac. Grâce à l'irrigation, les terroirs les plus sensibles aux changements climatiques (terroirs pluviaux + rizière au bord du lac), qui étaient soit mis en jachère, soit cultivés en riz sont beaucoup plus rentable si on y plante d'autres culture. Notons que les parcelles converties en d'autres cultures étaient converties en jachère dans le cas de l'effet unique du changement climatique.
- Ainsi, on peut dire que la partie Est du lac est plus sensible au changement climatique qu'au changement démographique. Par contre, la partie Ouest beaucoup plus sensible au changement démographique.

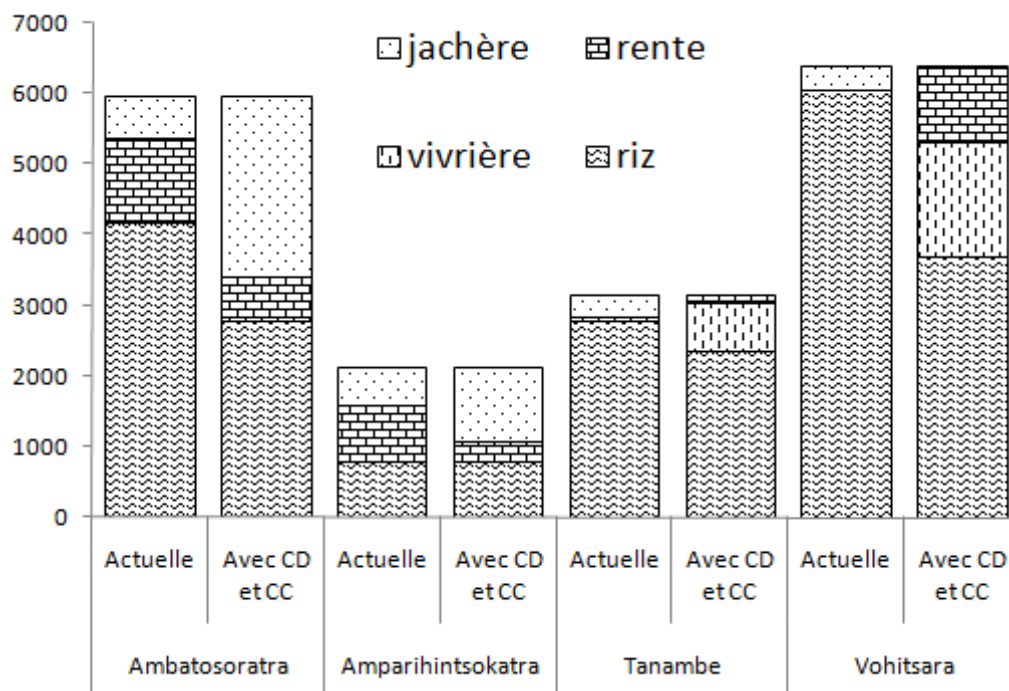


Figure 5-19 : Changement d'occupation des sols des quatre localités étudiées en fonction de la combinaison de changements démographique et climatique.

III.5.2- Changement du mode d'occupation de sols pour un CC et CD à l'échelle de l'exploitation

Tout comme ce qui se passe à l'échelle de la région, l'effet du changement climatique prime sur l'effet du changement démographique dans les deux localités situées à l'Est du lac. En effet, on retrouve les mêmes occupations de sols entre les deux situations (avec CC Vs avec CC et CD) c'est-à-dire beaucoup plus de surfaces en jachère et de culture de rente qu'avec la situation actuelle (Figure 5-15).

- Par ailleurs, dans les localités de l'Ouest, les effets des deux facteurs sont combinés. Pour la localité de Tanambe, Le changement démographique résout le problème de jachère malgré les effets du changement climatique. En effet, de la situation actuelle vers une situation avec à la fois changements climatique et démographique, toutes les superficies favorables à la culture sont utilisées. Si le changement climatique induit à une augmentation de la superficie non cultivée, et le changement démographique à une conversion des jachères en cultures de rente et en riz ; l'effet des deux facteurs entraîne une mise en culture de toutes les superficies. Toutefois, au lieu d'avoir du riz et des cultures de rente, les jachères sont converties en cultures vivrières et en cultures de rente. En outre, la superficie de cultures de rente observée avec le CD est maintenue pour les deux premiers types. Par ailleurs, elle diminue pour le type 3.
- Pour la localité de Vohitsara, les effets des deux facteurs sont également combinés. Toutes les superficies disponibles sont maintenues cultivées. Le changement qui se produit avec le changement climatique est également aperçue avec la situation avec CC et CD pour les deux premiers types d'exploitation. Toutefois, pour le type 3, le changement se manifeste par la conversion d'une partie des parcelles de riz en cultures vivrières.

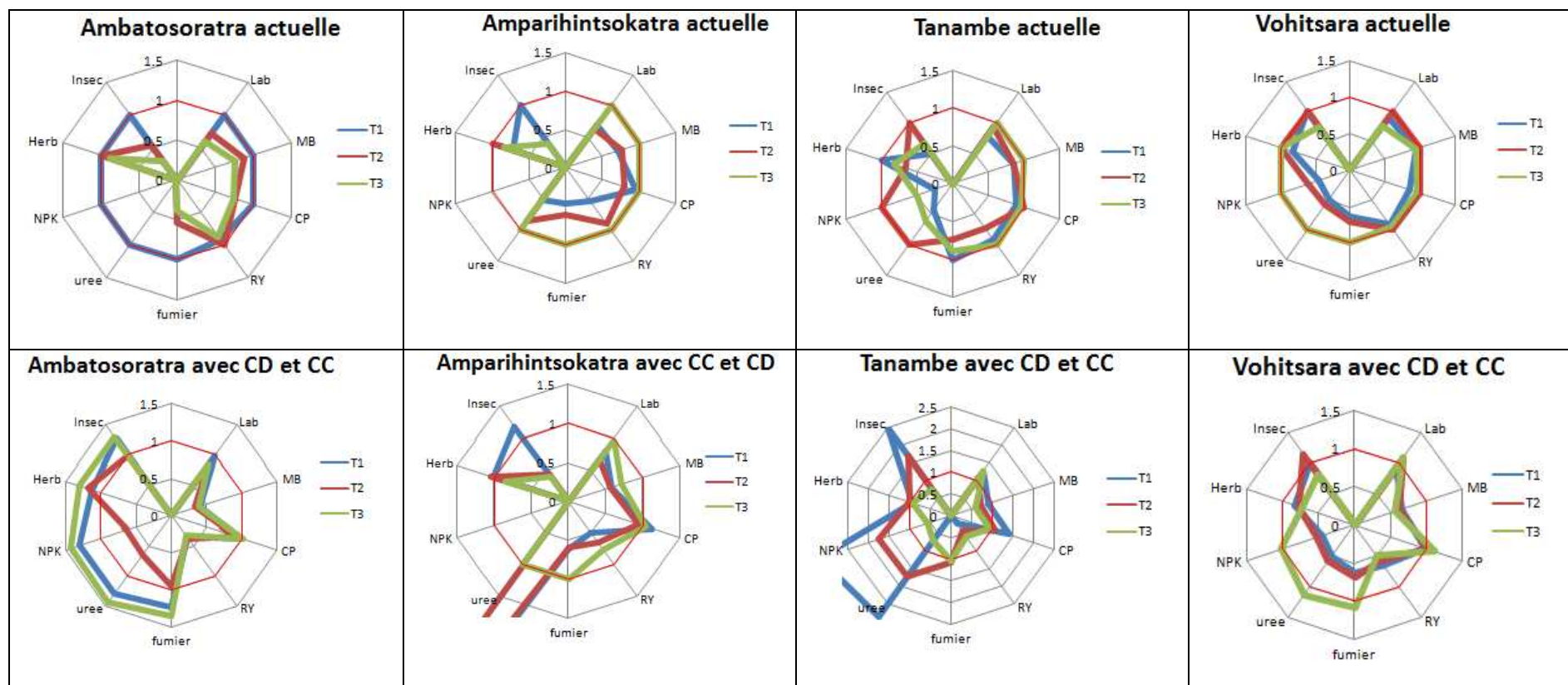


Figure 5-20: Evolution des indicateurs de production à l'échelle de l'exploitation agricole pour un scénario avec changement climatique et démographique.

III.5.3- Evolution des indicateurs en fonction du changement démographique et du changement climatique

Ambatosoratra

Une augmentation de la quantité de MO utilisée est observée avec le changement climatique et démographique. Cela varie de 18 à 67% pour la localité d'Ambatosoratra et augmente au fur et à mesure que l'on passe du type 1 au type3 (Figure 5-20). Outre l'augmentation de la quantité de main d'œuvre utilisée, les changements climatique et démographique entraînent une diminution de la marge brute obtenue, mais également du coût de production. L'augmentation du nombre de MO utilisée vient de l'effet du changement démographique, tandis que la diminution de la marge brute est issue de l'effet du changement climatique. La diminution du coût de production est étroitement liée à la diminution de l'utilisation des fertilisants organiques et minéraux, ainsi qu'à l'utilisation d'herbicides suivant les types de terroir concernés et selon l'augmentation de la superficie cultivée. La quantité totale de fertilisants utilisée reste la même que celle utilisée actuellement. Par contre, la quantité utilisée par unité de surface diminue à cause de l'extension de la superficie cultivée. On assiste également à une augmentation de la quantité d'insecticides utilisée à cause des effets du changement climatique. On peut aussi noter que, parmi les quatre localités considérées, celle d'Ambatosoratra utilise le plus de main d'œuvre en cas de CC et CD.

Amparihintsoakatra

Sous l'effet combiné du CC du CD, les deux premiers types d'exploitations connaissent une augmentation de la quantité de main d'œuvre utilisée. Elle est de 38% pour le type 1 et de 33% pour le second type. Par ailleurs, le type 3 de cette localité est le seul type d'exploitation de la région à connaître une diminution (2%). En outre, la marge brute obtenue ainsi que la production rizicole diminuent. Cela est surtout visible avec les deux derniers types d'exploitation, et est étroitement lié au CC. Par contre, le coût de production, l'utilisation de fumier ainsi que les fertilisants minéraux sont en baisse. Cela est dû aux effets du changement démographique. Ainsi la variation des valeurs des indicateurs par rapport à la situation actuelle dépend non seulement des types d'exploitation, mais également de la sensibilité de chaque indicateur aux effets du CD et du CC.

Tanambe

Pour la localité de Tanambe, les effets du facteur démographique sont maintenus pour la main d'œuvre. Cela se manifeste par une augmentation de la quantité de travail fournie (entre 11 et 17%). L'indicateur de la marge brute dépend surtout de l'effet du CC car sa valeur diminue de la situation actuelle vers une situation avec CC et CD. Le coût de production est influencé par le double effet des deux facteurs. La quantité de fumier utilisée

connaît également une diminution à cause de l'extension de la superficie cultivée. La quantité totale (disponible pour chaque exploitation) stagne ou augmente de peu, par contre la quantité utilisée par unité de surface diminue. On peut noter également une diminution de la quantité d'herbicides utilisée en cas de changement. Cela est surtout perceptible pour le premier type d'exploitation et s'explique par le manque de moyen. En effet, ce type d'exploitation possède une grande superficie dont la majorité ne sont pas cultivées pour la situation actuelle. Avec le CC e CD, la superficie cultivée augmente alors que la quantité totale d'herbicides utilisée est toujours la même. Ainsi, la quantité utilisée par unité de surface diminue.

Vohitsara

Les effets combinés du CD et CC sont surtout visibles avec la quantité de MO utilisée (qui se manifeste par une augmentation), de la marge brute (qui se manifeste par une diminution) et de la production rizicole (qui se manifeste par une diminution). L'augmentation en MO vient de l'effet du CD. Par contre, c'est surtout le CC qui influe sur la valeur de la marge brute et sur que la production rizicole.

III.6- Répartition de la quantité de main d'œuvre utilisée mensuellement

La quantité de main d'œuvre utilisée mensuellement est inégalement répartie. On peut noter deux pics durant une saison. L'un, qui est plus haut, se situe entre les mois de Décembre et Janvier, et qui correspond à une concentration d'activités dont la préparation du sol, le semis, et le repiquage. L'autre se situe au mois de Mai, et coïncide avec la période de récolte. Dans une situation où il y a raccourcissement de la période de pluie, entraînant un bouleversement du calendrier cultural, la concurrence entre les différentes exploitations est de plus en plus vive et la quantité de main d'œuvre utilisée peut excéder la quantité disponible par mois. Aussi, la limitation de la main d'œuvre totale disponible pendant une saison peut-elle être accentuée par une limitation de la main d'œuvre disponible chaque mois. Généralement, la quantité de main d'œuvre utilisée pour une situation avec changement démographique est supérieure à la situation actuelle du fait que le CD entraîne une augmentation de MO disponible (Figure 5-21).

On peut noter que les deux localités de l'Est utilisent beaucoup plus de main d'œuvre (supérieure à 23 hj.ha^{-1} pour le premier pic) par rapport à celles de l'Ouest (inférieure à 20 hj.ha^{-1}).

On peut noter également que la localité d'Ambatosoratra connaît non seulement le plus de retard dans les activités, mais utilise également le plus de MO parmi les quatre localités. Notons qu'actuellement, la main d'œuvre utilisée dans cette localité durant le mois de Décembre excède de celle disponible.

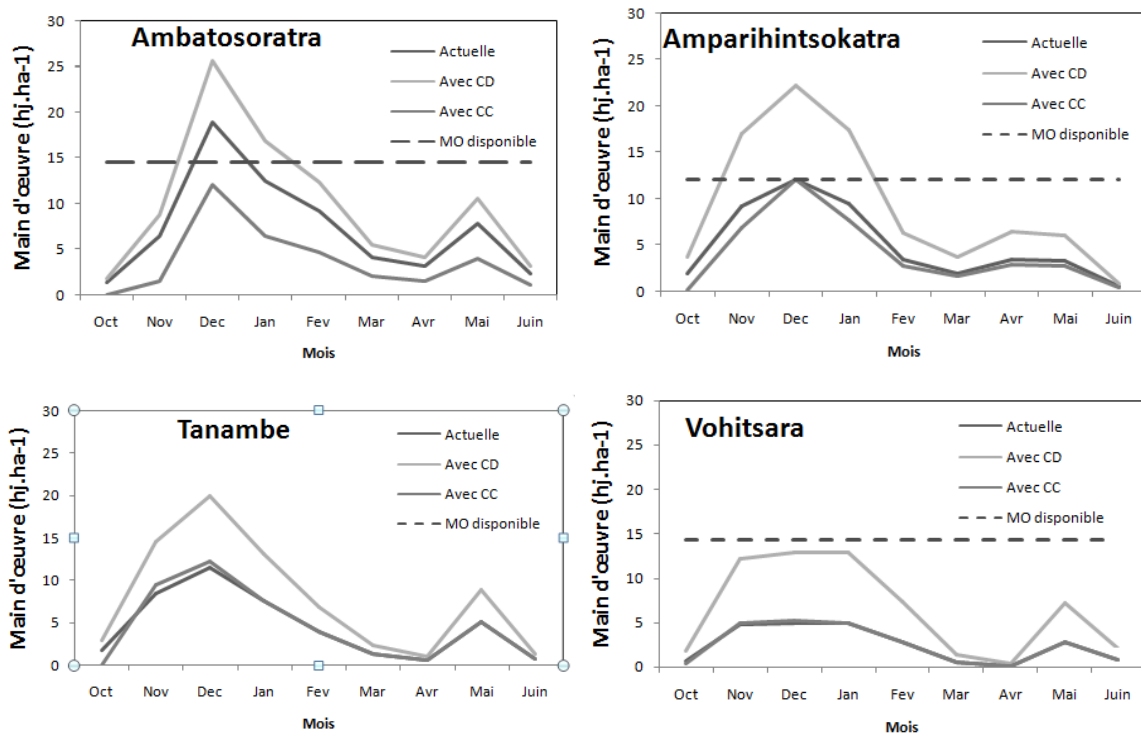


Figure 5-21 : Distribution mensuelle et variation de l'utilisation de la main d'œuvre des quatre localités pour les trois situations.

(la situation actuelle, avec un Changement climatique et avec un changement démographique) et la quantité de main d'œuvre disponible dans chaque localité.

III.7- Sensibilité des exploitations agricoles aux facteurs climatiques et démographiques à l'échelle de l'exploitation

D'après la somme des points issus de l'influence des deux facteurs par rapports aux indicateurs considérés (Tableau 5-5): le type d'exploitation 1 de la localité d'Ambatosoratra est à la fois sensible aux changements démographique et climatique. En effet, étant donné qu'il ne dispose pas de beaucoup de moyens, alors que la majorité de ses parcelles sont situées sur des terroirs pluviaux, le changement démographique leur est beaucoup plus bénéfique. Toutefois, la distribution de leur terroir doublé de l'insuffisance des moyen expliquent leur sensibilité au changement climatique. Par ailleurs, les types 2 et 3 sont beaucoup plus sensibles aux changements climatiques que démographique, car bien que la majorité des parcelles se trouvent sur des terroirs irriguées, le régime hydrographique est fonction de la pluviosité. Ainsi, les effets du raccourcissement de la période de pluie et de la fréquente poche de sécheresse ne peuvent pas être limités ou compensés par le changement démographique.

Pour la localité d'Amparihintsokatra, le type d'exploitation 1 est sensible au changement climatique. Comme la majorité des parcelles de ce type se trouvent sur des *Tanety*, le CD permet d'augmenter la production agricole, tandis que le CC entraîne à la fois la diminution la production et l'augmentation du coût de production. Par contre, le type 2 est beaucoup plus influencé par le changement démographique et le type 3 est beaucoup plus sensible au

deux facteurs, étant donné que la majorité des parcelles irriguées de cette localité bénéficient d'une bonne maîtrise de l'eau. Le raccourcissement de la période de pluie a moins d'influence sur les deux derniers types. Ainsi, la disponibilité de la main d'œuvre constitue beaucoup plus pour eux un facteur limitant à la production.

Pour la localité de Tanambe, toutes les exploitations sont beaucoup plus sensibles au changement climatique qu'au changement démographique. Bien que cette localité bénéficie de la maîtrise de l'eau, le raccourcissement de la période de pluie constitue pour elle un facteur limitant au développement de l'agriculture. Cela se justifie par le fait que bien que la majorité des parcelles de cette localité se trouvent sur des terroirs irrigués, le CC a beaucoup plus d'influence sur la production. Toutefois, l'accroissement de la population influe sur l'utilisation des fertilisants et des pesticides.

Pour la localité de Vohitsara, le premier type d'exploitation est sensible aux deux facteurs, du fait que les indicateurs de production (marge brute, coût de production et production rizicole) sont sensibles au CC, tandis que les indicateurs d'intrants sont sensibles au CD.

On peut ainsi dire que la sensibilité au CC dépend de la distribution des terres. En effet, les exploitations qui possèdent beaucoup plus de terroirs irrigués sont généralement beaucoup plus influencées par le CC.

Tableau 5-5 : Tableau de résumé de la sensibilité des exploitations agricoles face aux changements climatique et démographique

Localité	Type d'exploitation	MO	MB	CP	RY	manure	Fumier	NPK	Herb	Insec	somme CC	Somme CD	tendance
Ambatosoratra	T1	CD	CC	CD+CC	CC	CD+CC	CD	CD+CC	CD+CC	CC	7	6	CD+CC
Ambatosoratra	T2	CD	CC	CD	CC	CC	CC	CC	CC	CC	7	2	CC
Ambatosoratra	T3	CD+CC	CC	CC	CC	CC	CC	CC	CC	CC	9	1	CC
Amparihintsokatra	T1	CD	CD+CC	CC	CD+CC	CD+CC	CC	CC	CC	CD+CC	8	5	CC
Amparihintsokatra	T2	CD	CC	CD	CD+CC	CD+CC	CC	CC	CD	CD	5	6	CD
Amparihintsokatra	T3	CD+CC	CC	CD+CC	CC	CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	9	6	CD+CC
Tanambe	T1	CD+CC	CD+CC	CC	CC	CD+CC	CC	CC	CD	CD+CC	8	5	CC
Tanambe	T2	CD	CC	CC	CC	CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	8	5	CC
Tanambe	T3	CD	CC	CC	CC	CD+CC	CC	CD+CC	CC	CC	8	3	CC
Vohitsara	T1	CD+CC	CC	CC	CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	CD+CC	9	6	CD+CC
Vohitsara	T2	CC	CC	CD+CC	CC	CD+CC	CD+CC	CC	CC	CC	9	3	CC
Vohitsara	T3	CD	CC	CC	CC	CD+CC	CD+CC	CC	CC	CC	8	3	CC

Conclusion

La SEAA est un outil qui permet à la fois de décrire un système, de comprendre son fonctionnement, de prédire l'évolution des indicateurs en fonction de plusieurs scénarii, et d'explorer les options pour une meilleure valorisation des ressources. La présente étude reflète le résultat de la dissymétrie entre l'Est et l'Ouest du Lac Alaotra. L'Est, qui, en majorité n'accède pas à la technologie, et l'Ouest dont la mécanisation est beaucoup plus développée. La SEAA reflète également la sensibilité des exploitations face aux facteurs climatique et démographique. Cette sensibilité dépend à la fois du type d'exploitation, de leur caractéristique et de la localité étudiée. Les deux localités de l'Est sont beaucoup plus sensibles au changement climatique et démographique. Tandis que les localités de l'Ouest (Tanambe et Vohitsara) sont sensibles au changement climatique. Par ailleurs, dans la région du lac Alaotra, le type d'exploitation 1 est généralement sensible à la fois aux facteurs démographique et climatique, tandis que le second type et le dernier type sont plus sensibles au changement climatique.

Par rapport aux indicateurs considérés : les indicateurs relatifs à la production (marge brute, coût de production et production rizicole) sont plus sensibles aux facteurs climatiques, tandis que les indicateurs relatifs aux intrants (quantité de main d'œuvre utilisée, fertilisants organiques et minéraux, pesticides) sont liés aux facteurs démographiques. Cela signifie que l'intensification agricole pour répondre à l'augmentation du nombre de la population dans la région du lac Alaotra se fait par le biais de l'augmentation des intrants agricoles et/ou du développement technologique. Par ailleurs, les facteurs climatiques influent beaucoup sur la production agricole et rizicole dans la région ; et dans le cas où leurs effets ne sont pas limités (ne sont pas solutionnés), cela pourrait induire à une insécurité alimentaire.

Par rapport aux types d'exploitations : en général et quelle que soit la localité, les types d'exploitations 1 sont sensibles à la fois aux facteurs démographiques et climatiques. Ils sont sensibles aux facteurs climatiques par le fait que la majorité de leurs parcelles se trouvent sur des terroirs irrigués, et aux facteurs démographiques par le fait que leurs moyens d'exploitations sont limités à l'utilisation des outils manuels et/ ou attelés. Ainsi, l'augmentation du nombre de population leur est favorable dans le cas où cela contribue à l'augmentation du nombre de main d'œuvre et à celle de la superficie cultivée. Les types 2 et 3 sont beaucoup plus sensibles aux changements climatiques que démographique. En effet, les parcelles sont sensibles soit à la fréquente poche de sécheresse, comme le cas d'Ambatosoratra et d'Amparihintsoakatra, soit à une remontée beaucoup plus rapide du niveau du lac (les parcelles se trouvent au bord du lac) comme le cas de Vohitsara. Toutefois, étant donné que ces types possèdent beaucoup plus de moyens que le premier et qu'ils disposent également de terroirs irrigués en grande quantité, leur sensibilité au CC est réduit. En général, les effets du changement climatique sont minimes par rapport au

précédent type. Par contre, il leur faut de la main d'œuvre pour travailler les terroirs pluviaux.

Par rapport à la localité : les localités d'Ambatosoratra et d'Amparihitsokatra (celles de l'Est) sont à la fois sensibles aux changements démographique et climatique, car, non seulement la grande majorité de leurs parcelles sont situées sur des terroirs pluviaux, mais également, une partie de leur terroirs, même irriguée, a un accès difficile à l'eau. Ainsi, on peut dire qu'elles sont sensibles au CC à cause de la mauvaise maîtrise de l'eau, et au CD car les moyens à leur disposition (financier et outillage agricoles) sont limités par rapport aux localités de l'Ouest. La localité de Vohitsara est sensible aux changements climatiques car cette localité a le plus de parcelles se trouvant au bord du lac. La quantité de pluie ne diminue pas, mais c'est plutôt sa distribution mensuelle. Ainsi, quand il pleut, on assiste à une hausse rapide du niveau du lac, et ce sont les rizières situées au bord du lac qui sont les premières à être touchées. La localité de Tanambe est sensible au changement démographique, parce que la majorité des parcelles de cette localité sont non seulement situées sur des terroirs irrigués, mais accèdent également à l'eau grâce au barrage de retenue. Ainsi, cette localité est moins sensible au raccourcissement de la période de pluie et à une fréquente poche de sécheresse. Par contre, elle est sensible à l'augmentation démographique car il leur faut beaucoup plus de main d'œuvre pour les différentes activités agricoles, notamment lors du repiquage et de la collecte.

Au niveau des exploitations, la sensibilité au changement climatique est déterminée par la surface cultivable et leur distribution selon les différents terroirs, tandis que la sensibilité au changement démographique dépend de la distribution des parcelles cultivées et de l'outillage agricole à la disposition de chaque famille.

Gérer le système c'est pouvoir optimiser la production tout en tenant compte de différentes contraintes. La gestion des ressources d'une exploitation agricole est la combinaison de plusieurs activités. Cette dernière dépend de la superficie cultivée et de leur distribution, des moyens financiers et des moyens humains, notamment la quantité de main d'œuvre disponible. Les productions agricoles des quatre localités étudiées peuvent être améliorées de deux manières. D'un côté, avec l'utilisation de mêmes ressources disponibles mais en mieux valorisant ces ressources par des pratiques agricoles différentes. De l'autre, en augmentant les ressources, notamment la main d'œuvre utilisée, de manière à ce que les terres cultivables soient mieux exploitées.

Références Bibliographiques

- Bontkes T.S., v.K.H., 2003. Modelling the dynamics of agricultural development at farm and regional level. *Agricultural Systems* 76, 379-396.
- Brown, D.R., 2000. A Review of Bio-Economic Models. Paper prepared for the Cornell African Food Security and Natural Resource Management (CAFSNRM) Program, pp. 100.
- Castelan-Ortega, O.A., Fawcett, R.H., Arriaga-Jordan, C., Herrero, M., 2003. A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part I—Integrating biological and socio-economic models into a holistic system. *Agricultural Systems* 75, 1-21.
- Giller K. E. , R.C., de Ridder N., van Keulen H. , 2006. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. *Agricultural Systems* 88, 8-27.
- Keys, E., McConnell, W.J., 2005. Global change and the intensification of agriculture in the tropics. *Global Environmental Change* 15, 320–337.
- Laney, R.M., 2002. Disaggregating induced intensification for land change analysis: a case study from Madagascar. *Annals of the Association of American Geographers* 92 (4), 702-726.
- López, S., Sierra, R., 2011. A resource demand model of indigenous production: The Jivaroan cultivation systems of Western Amazonia. *Agricultural Systems* 104, 246–257.
- Sahlins, M.D., 1972. *Stone Age Economics*.
- Santiago, L., Sierra, R., 2011. A resource demand model of indigenous production: The Jivaroan cultivation systems of Western Amazonia. *Agricultural Systems* 104 246–257.
- Shepherd K.D., S.M.J., 1998. Soil fertility management in west Kenya: dynamic simulation of productivity, profitability and sustainability at different resource endowment levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (1998) 71, 131-145.
- Tilman, D., 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 5995-6000.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418; 671-677.
- Tittonell, P., Wijk, M.T.v., Rufino, M.C., Vrugt, J.A., Giller, K.E., 2007. Analysing trade-offs in resource and labour allocation by smallholder farmers using inverse modelling techniques: A case-study from Kakamega district, western Kenya *Agricultural Systems* 95, 76–95.

- Tittonell, P., Wijk, M.v., Ridder, N.d., Giller, K.E., 2005. FARMSIM – The prototype analytical tool for AfricaNUANCES, Wageningen University.
- Turner, B.L., Ali, A.M.S., 1996. Induced intensification: Agricultural change in Bangladesh with implications for Malthus and Boserup. *Proc. Natl. Academy. Science* 93, 14984–14991.
- Van Keulen, H., 1995. Sustainability and long-term dynamics of soil organic matter and nutrients under alternative management strategies. 4(*Ecoregional Approaches for Sustainable Land Use.*), 353-375.
- Van Wijk M. T., T.P., Rufino M. C. , Herrero M., Pacini C., De Ridder N., Giller K. E. , 2009. Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM. *Agricultural Systems* 102, 89-101.
- VanWey, L.K., D’Antona, A.O., Brondizio, E.S., 2007. Household demographic change and land use/land cover change in the Brazilian Amazon. *Popul Environ* 28, 163-185.
- Vincent, K., 2007. Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. *Global Environmental Change* 17, 12–24.
- Vrugt, J.A., Gupta, H.V., A.Bastidas, L., Bouten, W., Sorooshian, S., 2003. Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models. *Water Resources Reaserch* 39, 1-19.
- Wijk, M.T.v., Tittonell, P., Rufino, M.C., Herrero, M., Pacini, C., Ridder, N.d., Giller, K.E., 2009. Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM. *Agricultural Systems* 102, 89–101.
- Winterhalderl, B., 1980. Environmental Analysis in Human Evolution and Adaptation Research. *Human Ecology* Vol. 8(2).

Chapitre VI Evaluation de la vulnérabilité et adaptation du système rizicole de la région du Lac Alaotra face à la variabilité de la pluviosité et à l'évolution démographique par l'utilisation de modèle SEAA.

Abstract

Climatic and demographic changes are both the main causes of the decreasing agricultural production. The two factors are mainly treated separately in many works. The aim of this study is to evaluate the impact of climate change and the demographic changes on agricultural production, the relation of the two factors and their impact on agricultural production. It also evaluates the vulnerability of the system to the impact of the both factors through Luers formula and explores practices which can make to a sustainable agricultural production. Change in rainfall induces two factors that can affect agricultural production. First, the direct factors which reduce directly the yield. Second is the indirect impact as the changes in cropping calendar that can affected the management of the resource, especially the management of the labor available and also affected the yield. Demographic factor has two sorts of impact on farm management and agricultural practices. First, it increases the yield through the changes in agricultural practices, especially in exploring different management of land uses. Second, it reduces the production per farm when the areas suitable for cultivation are fully used.

Résumé

Les changements climatique et démographique sont les principales causes de la baisse de la production agricole. Les deux facteurs sont généralement traités séparément dans de nombreux ouvrages. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des changements climatique et démographique sur la production agricole, la vulnérabilité du système aux deux facteurs à partir de la formule de Luers et enfin d'explorer les pratiques d'adaptation en vue d'une agriculture durable. La variation de la pluviosité induit deux facteurs qui peuvent affecter la production agricole. Premièrement, les facteurs directs qui affectent directement le rendement. La deuxième se focalise sur les effets indirects du changement climatique, notamment sur le calendrier cultural qui, par la suite affecte le mode de gestion des ressources ainsi que les rendements. Par ailleurs, le facteur démographique présente également deux sortes de répercussions sur les pratiques agricoles. Premièrement, il augmente le rendement grâce à l'évolution des pratiques agricoles. En particulier, l'exploration de gestion différentes d'utilisations des terres. Deuxièmement, il réduit la production par exploitation lorsque les zones propices à la culture sont saturées.

Introduction

Dans une optique de développement durable, l'agriculture, qui constitue une des principales ressources pour assurer l'alimentation de l'ensemble de la population, doit poursuivre l'augmentation de la productivité des écosystèmes exploités (Tilman *et al.*, 2002), mais il est nécessaire de la faire de façon durable sur un plan environnemental et économique. Face à cela, de nouveaux modèles d'agriculture durable ont émergé, comme le modèle de la révolution verte ou celui du développement durable visant une conservation maximale de la biodiversité et des processus de régulation naturels au sein des agro-écosystèmes (Plantegenest *et al.*, 2007). L'agriculture pour le développement durable a pour objectif de préserver les ressources naturelles et de promouvoir des voies de développement qui répondent à la satisfaction des besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs (Bruntland, 1987). Les efforts de l'adaptation au changement climatique ont besoin d'être combinés convenablement avec le développement durable de la communauté (Laukkonen *et al.*, 2009).

Des études montrent que la pression démographique est une des principaux facteurs en rapport avec les besoins alimentaires dans une société basée sur l'économie de subsistance (López and Sierra, 2011). Ces auteurs soutiennent que la croissance démographique augmente la production par le biais des techniques et innovations. L'intensification agricole ou son extensification sont liées à la dynamique de l'exploitation agricole (Pan *et al.*, 2004; Brondizio, 2009). Par ailleurs, l'étude de l'impact du changement climatique doit tenir compte de l'effet de la concurrence socio-économique du fait que cela pourrait réduire ou amplifier les impacts du changement climatique (Abildtrup *et al.*, 2006).

Face à l'augmentation du nombre de la population doublée des impacts du changement climatique, les paysans adoptent des pratiques qui, pour eux, sont les plus adaptées face à la situation socio-économique qui prévaut. L'étude des pratiques agricoles actuelles fournissent des informations utiles sur comment les sociétés agricoles peuvent se débrouiller avec le changement climatique (Downing, 1991) et à quel niveau d'adaptation les agriculteurs se trouvent. La notion d'adaptation n'est pas un phénomène nouveau, étant donné que la variabilité climatique a toujours existé et qu'inconsciemment, l'homme a pris des mesures pour faire face à cette variation (Smit and Wandel, 2006; Dovers, 2009; Berrang-Ford *et al.*, 2011).

Pour l'appréhension de la vulnérabilité, l'étude à différentes échelles est indispensable (Brooks *et al.*, 2005) en vue de trouver des techniques d'adaptation au changement climatique. Les objectifs de cette étude sont d'évaluer la vulnérabilité des exploitations agricoles liée au changement démographique et au changement climatique à différents niveaux. En partant de la formule de (Luers, 2005), l'évaluation de la vulnérabilité d'un système passe par l'étude de la sensibilité, de l'exposition et de la capacité d'adaptation.

Dans le concept d'adaptation, cette étude consiste également à amener une technique qui s'oriente vers une agriculture durable par le biais de changement des pratiques agricoles, c'est-à-dire à trouver une technique qui est facile à adopter par les paysans mais qui apporte également une augmentation de la production.

I- Matériels et méthodes

II.1- Evaluation du niveau de vulnérabilité

La vulnérabilité est considérée comme la susceptibilité d'être affecté par l'exposition aux stress liés au changement social et environnemental, et en l'absence de la capacité de s'adapter (Adger, 2006), ou la susceptibilité de subir un dégât (Luers, 2005). C'est le degré pour lequel un système est susceptible à faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les événements extrêmes (IPCC, 2001). D'après (Luers, 2005), elle est fonction de la sensibilité ou de l'exposition d'un système à un choc, les stress ou perturbations, l'état initial du système par rapport au seuil de la catastrophe et la capacité du système à s'adapter aux conditions de changement. Dans notre cas, la description sur la surface de vulnérabilité n'est pas fixe. Elle est dynamique et est fonction du changement de conditions sociales et biophysiques. Elle varie également selon l'échelle considérée ; de l'échelle régionale à l'échelle de l'exploitation agricole, l'appréhension de la vulnérabilité est différente (Vincent, 2007).

II.2- Sensibilité

Selon la définition du groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007), la sensibilité est le degré auquel un système est influencé, positivement ou négativement, par la variabilité du climat ou les changements climatiques. Dans cette étude, la sensibilité correspond à la variation de la production au niveau de chaque exploitation et/ou de la localité, suite à l'influence d'un facteur. Les facteurs considérés dans cette étude sont la variation de la pluviosité et l'évolution démographique. Dans les calculs de la sensibilité, il a été nécessaire de rapporter l'évolution par unité de surface cultivée pour qu'il n'y ait pas d'effet de l'augmentation de la superficie cultivée.

II.2.1- Sensibilité par rapport aux changements climatiques

(Downing, 1991) a classifié en trois catégories les effets du changement climatique sur l'agriculture. La première considère l'effet direct de l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone. La seconde prend en compte la variation climatique, notamment la variabilité de la température et de la pluviosité. La troisième se focalise sur l'effet secondaire du changement climatique sur le système socio-économique. Nous avons choisi de prendre en compte les deux derniers effets, étant donné, que les modèles qui incorporent l'effet direct de l'augmentation du dioxyde de carbone reste à un stade expérimental avec des

essais sous serre et nécessitent également une validation supplémentaire pour que les résultats soient entièrement fiables.

La sensibilité aux changements climatiques est définie par la différence entre les valeurs d'un indicateur d'une situation sans changement climatique ou de la situation actuelle et d'une situation avec changement climatique ou mauvaise année culturale (cf. chap 2). D'un côté, une année sans changement climatique relate le potentiel de la production, et la mauvaise année relate une possibilité de la tendance vers un changement climatique. Cela se manifeste à la fois par une variation de la production due à : (i) l'influence directe d'un raccourcissement de la période de pluie et d'une fréquente poche de sécheresse (ex. La diminution de la production par le stress hydrique) et à (ii) une influence indirecte²⁶ en passant par la diminution de la superficie cultivée. (Figure 6-1). En effet, le changement climatique qui se manifeste par un raccourcissement de la période de pluie dans la région du lac Alaotra entraîne un bouleversement du calendrier cultural (un retard dans le travail du sol, et un raccourcissement de la saison de culture en général). Cela entraîne une concentration des activités et une demande en MO importante pour pouvoir maintenir la superficie cultivée. Dans le cas où il n'y a pas suffisamment de MO disponible, la superficie cultivée diminue, entraînant ainsi une baisse de la production.

L'indicateur de la marge brute et de la production rizicole a été choisi pour décrire la sensibilité du fait que la première fait état d'un rapport sur le plan économique et la seconde, dans un objectif de sécurité alimentaire.

²⁶ Le second type de sensibilité est relatif à l'influence d'un aléa sur un paramètre, mais qui induit à la diminution de la production. (ex. Le changement climatique influe sur le calendrier cultural (notamment à une concentration des activités) qui est dépendant de la quantité de main d'œuvre utilisée. Cela pourrait influencer sur la quantité de terres cultivées et, par conséquent, sur la production.

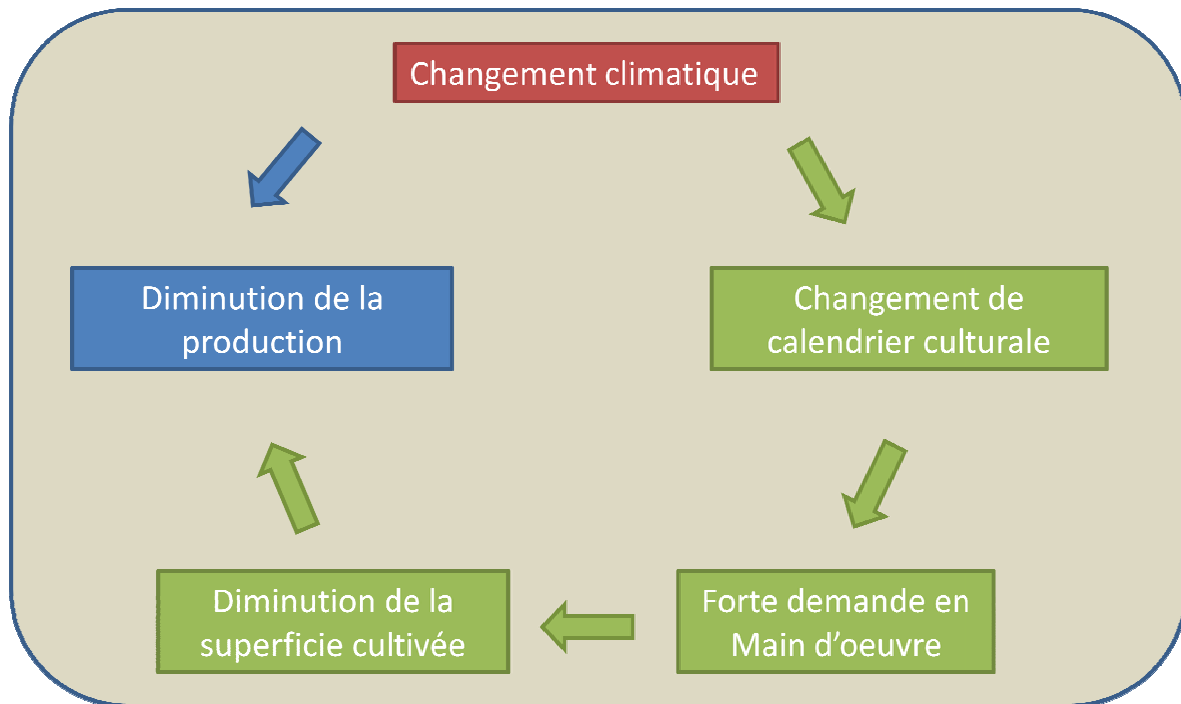


Figure 6-1: Sensibilité de l'exploitation agricole face à un aspect du changement climatique (raccourcissement de la période de pluie).

En bleu la sensibilité directe, et en vert, la sensibilité indirecte.

II.2.2- Sensibilité par rapport à l'augmentation de la population

La sensibilité à l'évolution démographique se traduit par l'évolution de la valeur d'un indicateur en fonction de l'accroissement du nombre de la population ou de la famille. Cette dernière est relative au nombre d'actifs par type d'exploitation ou par localité. Etant donné que la production agricole est en rapport avec le nombre d'actifs d'une exploitation ou d'une localité, la sensibilité au CD est étroitement liée au nombre de main d'œuvre utilisée. Ainsi, la sensibilité aux changements démographiques est définie par l'écart entre la valeur d'un indicateur de la situation actuelle ou sans CD et la situation avec CD. Le choix des indicateurs de la marge brute et de la production rizicole a toujours été maintenu pour décrire la sensibilité.

II.3- Exposition

Il s'agit du degré pour lequel chaque système pourra répondre à une force de dérangement extérieure (Luers, 2005). L'exposition varie selon différentes situations (socio-économique, culturelle, biologique), et selon le degré d'agressivité du phénomène incident (ex : aléas climatique). Elle se traduit par probabilité pour qu'un type de terroir ou un type d'exploitation soit touché par un aléa donné. Comme la plupart des parcelles de chaque localité se trouvent sur une aire géographique réduite, on peut considérer qu'elles sont

exposées de la même façon à un raccourcissement de la période de pluie. Ainsi, l'exposition est considérée comme une variable constante.

II.4-Capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation se définit comme la mesure dans laquelle un système peut modifier sa situation pour passer à un état moins vulnérable (Luers, 2003). C'est également la capacité d'un système à préparer et à modifier à l'avance les techniques qui répondent aux effets causés par des stress (L.Engle, 2011). La capacité d'adaptation requiert un pré-requis de diverses situations dans un objectif d'atteindre les techniques d'intervention qui répondent le plus aux divers impacts des aléas climatiques (Vincent, 2007). Ainsi, dans le présent modèle développé, la capacité d'adaptation se divise en deux parties. La première parle de l'adaptation déjà pratiquée par les paysans. Elle se traduit par la distance entre la situation réelle et celle avec un changement climatique et démographique ou l'écart entre la situation réelle et la situation de catastrophe (mauvaise année culturale) décrit par Luers. La seconde partie correspond aux options pour une meilleure gestion des ressources, c'est-à-dire de la différence de production entre la situation optimale²⁷ et la situation proche du réelle (la situation à laquelle se trouvent les paysans actuellement), dû aux différents modes de gestion des exploitations agricoles. Plus précisément, au mode de gestion des ressources d'une exploitation²⁸, aux moyens à disposition (financier, matériels et humain). Toutefois, les deux types d'adaptation sont comparables mais, la différence réside dans la position où se trouve l'acteur. Le premier met surtout en lumière la vulnérabilité d'un système, tandis que le second met déjà en avant les techniques d'adaptation.

La capacité d'adaptation dans cette étude correspond ainsi à la distance entre la situation actuelle et la situation avec un changement. Elle est obtenue par la différence entre la valeur d'un indicateur de la situation actuelle et la valeur avec changement climatique et/ou démographique.

II.5- Vulnérabilité

En considérant la formule de Luers 2005, la vulnérabilité aux changements climatiques de la région du Lac Alaotra correspond au rapport de la sensibilité et de l'exposition à la capacité d'adaptation. Etant donné que l'exposition est la même pour toutes les quatre localités, la vulnérabilité est ainsi égale au rapport de la sensibilité et de la capacité d'adaptation. La vulnérabilité est la somme de la vulnérabilité aux changements climatiques et à l'évolution de la démographie. Quand la sensibilité est supérieure à la capacité d'adaptation (rapport supérieure à 1), les exploitations agricoles sont alors vulnérables.

²⁷ La situation optimale est le mode de gestion idéal que prédit le modèle avec les mêmes conditions que la réalité (pour une même quantité de ressources disponibles).

²⁸ Gestion de terroirs et priorisation des parcelles de certains terroirs, au mode d'occupation des sols de chaque terroir, l'outillage utilisé, les doses de fertilisants et de pesticides

Toutefois, le présent modèle inclut déjà à la fois la sensibilité et la capacité d'adaptation, car la sensibilité est justifiée par l'écart de production entre deux situations, et la capacité d'adaptation se traduit par le mode de gestion le plus efficace face à une situation de changement. Ainsi, la vulnérabilité est décrite par la différence entre la situation actuelle et la situation avec changement. Si elle est positive, on dit qu'une exploitation n'est pas vulnérable. Par contre, si elle est négative, une exploitation est dite vulnérable. La marge brute est maintenue pour une question de rentabilité économique, et la production rizicole pour le cas de la sécurité alimentaire.

II-6. Projection temporelle de la vulnérabilité en rapport avec la sécurité alimentaire.

La projection temporelle en rapport avec la sécurité alimentaire permet de déterminer également la vulnérabilité. Cette dernière est définie par l'écart entre la production rizicole et la demande au cours d'une durée [Équation1](#). Si l'écart est positif, une localité ou une exploitation agricole n'est pas vulnérable. Tandis que si l'écart est négatif, la vulnérabilité existe. La projection de la demande en riz a été estimée à partir de l'évolution de la population. Elle a été calculée à partir du nombre total de population dans chaque localité au moment de l'enquête, du taux d'accroissement naturel et de la consommation de riz par personne. La quantité de riz produite est issue du modèle d'optimisation par SEAA. Elle permet également de situer la période où la sécurité alimentaire d'une localité n'est plus assurée.

Équation1 : **Vulnérabilité = production rizicole – besoin en riz (en t)**

II- Résultats et discussions

III.1-Vulnérabilité au changement climatique

III.1.1- Vulnérabilité par rapport à la marge brute

Cinq points peuvent être retenus pour la vulnérabilité du point de vue économique des exploitations agricoles de la région du Lac Alaotra face au changement climatique :

- Seul le premier type d'exploitation de la localité de Tanambe connaît un surplus de marge brute (Figure 6-2).
- La vulnérabilité des exploitations des trois autres localités est plus ou moins similaire.
- Dans la région du Lac Alaotra, l'écart entre, d'un côté, la marge brute de la situation actuelle, et celle d'une situation avec changement climatique de l'autre, qui constitue la vulnérabilité au CC, varie de moins 0,11 à 1,40 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹. La quasi-totalité des exploitations de la région du Lac Alaotra sont vulnérables au changement climatique. Au niveau de la localité, les exploitations de la localité d'Ambatosoratra sont les plus vulnérables à la variation de la pluviosité avec un écart moyen de 1,20 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹. Cela est dû à une forte variabilité de la sensibilité causée à la fois par la diversité de terroirs, et par l'absence de la maîtrise de l'eau. Au niveau des exploitations agricoles, la vulnérabilité diminue au fur et à mesure que l'on passe du premier type au troisième type pour la localité d'Ambatosoratra, alors que le cas inverse se présente pour les exploitations des trois autres localités.
- Pour les exploitations de la localité d'Amparihintsokatra, l'écart varie de 0,20 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹ à 0,55 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹. Il varie de moins 0,11 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹ à 0,80 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹ pour celle de Tanambe. Notons que le type 1 de cette localité, bien qu'il soit considéré comme petite exploitation, est le seul à ne pas être vulnérable vis-à-vis du changement climatique. Ainsi, la variation de la marge brute est en rapport avec la surface cultivée et l'association culturale utilisée.
- Par ailleurs, on peut noter, d'une part, que les deux localités situées à l'Est du lac Alaotra présentent une grande variation de sensibilité. Cela vient du fait que la répartition des parcelles des localités de l'Est se trouve en majorité sur des terroirs où l'accès à l'eau est limité (cf.chap1). Pourtant ces localités ne possèdent pas de barrage de retenue. Ainsi, la pluie joue un rôle important dans la production car le commencement et la mise en place des cultures ainsi que celui des activités culturales en dépendent. Notons également qu'on peut toujours réaliser une extension de la superficie cultivée, et que le raccourcissement de la période de pluie, qui se manifeste par une arrivée tardive et une fin précoce des pluies, entraîne une concentration des activités culturales ainsi qu'une concurrence chez les exploitants agricoles pour optimiser la quantité de surfaces cultivées. D' autre part, les

variabilités des localités de l'Ouest sont faibles par rapport à celles de l'Est (environ 1,5 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹) à cause de la répartition des parcelles qui sont en majorité situées sur des terroirs irrigués.

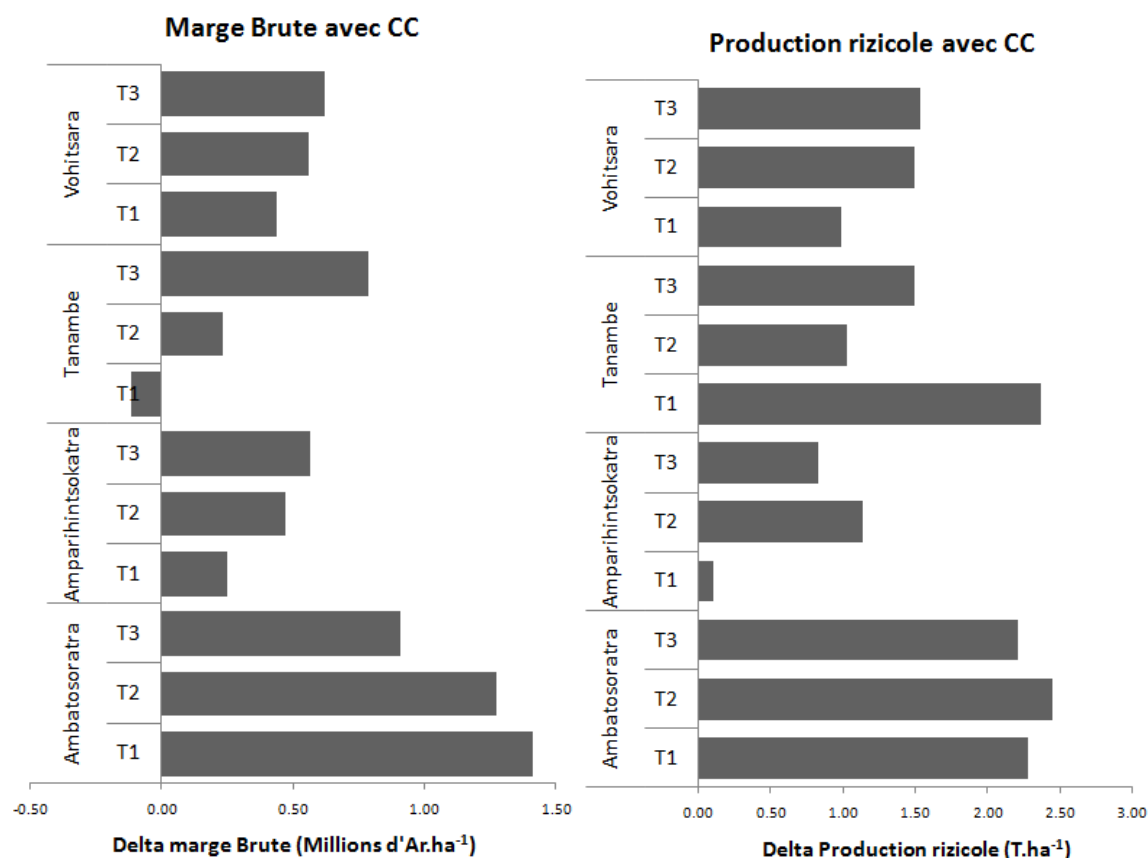


Figure 6-2: Delta marge brute et delta production rizicole entre la situation actuelle et la situation avec changement climatique.

Supérieurs à zéro sont considérés comme vulnérable et inférieur à zéro le cas contraire.

III.1.2- Vulnérabilité des exploitations agricoles de la région du Lac Alaotra par rapport à la production rizicole

Toutes les exploitations autour du Lac Alaotra sont vulnérables au changement climatique en termes de production rizicole. Toutefois, les exploitations de la localité d'Ambatosoratra se démarquent des autres localités par un fort écart entre la situation actuelle et la situation avec changement climatique (Figure 6-2). Le second type d'exploitation de la localité d'Ambatosoratra est le plus vulnérable avec une perte d'environ 2,5T.ha⁻¹ avec le changement climatique. Par contre, le type d'exploitation 1 de la localité d'Amparihintsoakatra est le moins vulnérable avec un écart de 110 kg.ha⁻¹ entre les deux situations climatiques.

La diminution de la production des exploitations est faible dans la localité d'Amparihintsoakatra avec 0,70 T.ha⁻¹ d'écart entre la situation actuelle et la situation avec

un changement climatique. Bien que cette localité soit dominée par les *Tanety*, la riziculture se pratique dans les rizières de bas fonds qui sont généralement alimentées en eau par des sources. Ainsi, la variation de la pluviosité a peu d'influence sur la production rizicole de cette localité.

III.2- Vulnérabilité au changement démographique

Deux groupes d'exploitations (type 1 de la localité d'Ambatosoratra et de Tanambe) sur les 12 existants dans les quatre localités sont vulnérables par rapport au changement démographique (Figure 6-3). En effet, l'augmentation du nombre de la population cause une perte allant jusqu'à 0,14 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹ pour ces deux exploitations. Par ailleurs, le type 3 de la localité de Tanambe, ainsi que les deux premiers types de la localité de Vohitsara ne sont pas influencés par le changement démographique, car l'écart entre la situation actuelle et celle avec CD est nul. En outre, le changement démographique est bénéfique pour les autres exploitations. Par ailleurs, le changement démographique entraîne une perte au niveau de la production de la plupart des exploitations agricoles de la région, contrairement à la variabilité par rapport à la marge brute. En effet, seuls les types 2 et 3 de la localité de Tanambe ainsi que le type 3 de la localité de Vohitsara connaissent une augmentation de la production rizicole en cas de CD. Par contre, les exploitations qui n'ont pas connu de changement par rapport à la marge brute reste inchangé avec la production rizicole. Les exploitations restantes sont vulnérables au CD car elles connaissent une diminution de la production. Cette diminution est entraînée par la conversion de certaines parcelles, autrefois rizicultivées en d'autres cultures, notamment en cultures de rente.

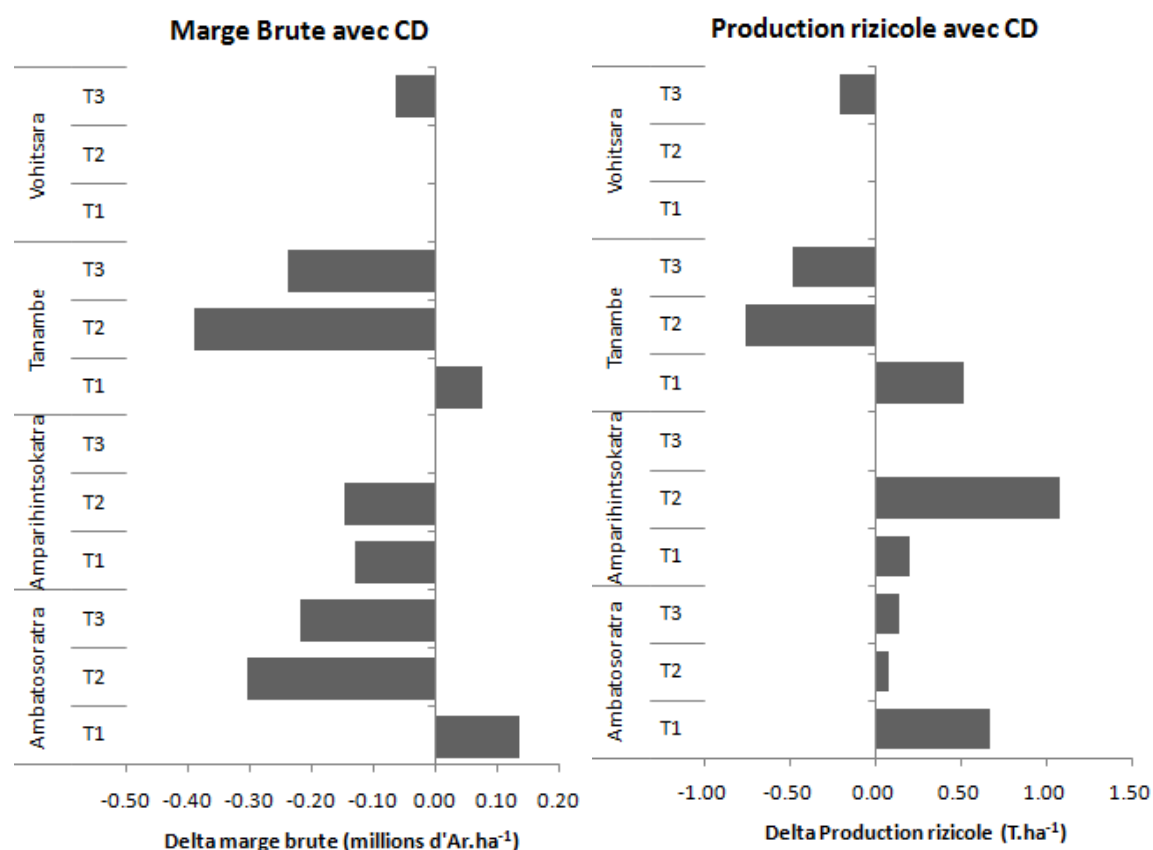


Figure 6-3: Delta marge brute et production rizicole entre la situation actuelle et la situation avec changement démographique.

Supérieurs à zéro sont considérés comme vulnérables.

III.3- Vulnérabilité au Changement climatique et démographique

Les mêmes aspects qu'avec un changement climatique est aperçu avec le double effet des changements climatique et démographique quelle que soient les exploitations et la localité. En effet, les exploitations de la localité d'Ambatosoratra sont les plus vulnérables avec un écart entre 0,90 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹ et 1,40 millions d'Ar.ha⁻¹.saison⁻¹. La vulnérabilité diminue au fur et à mesure que l'on passe du premier au troisième type dans cette localité, alors que le cas inverse se présente dans les autres localités. Seul le type 1 de la localité de Tanambe n'est pas vulnérable au double effet des CC et CD ensemble (Figure 6-4).

Par ailleurs, en terme de production rizicole, toutes les exploitations, quelle que soit la localité, sont considérées comme vulnérables au CD et CC. Une diminution de plus de 2 T.ha⁻¹ est observée dans la localité d'Ambatosoratra. La localité d'Amparihintsokatra connaît le moins de variabilité avec un écart moyen de 0,70 T.ha⁻¹. Les diminutions sont respectivement de 1,64 T.ha⁻¹ et 1,35 T.ha⁻¹ pour les localités de Tanambe et de Vohitsara. On peut ainsi dire que le changement climatique prime sur le changement démographique.

(Boserup, 1981) Soutient que la croissance démographique tendait à favoriser le progrès technique de manière à ce qu'il réponde au besoin alimentaire. Toutefois, (Ronald, 1992) affirme que cette relation ne peut pas être infinie dans un monde où les ressources sont

limitées et ajoute que la population mondiale arrive au terme de l'utilisation des ressources (notamment de la surface cultivable). Pour cela, il annonce que le monde d'aujourd'hui bute sur des limites que le capital et le progrès technique ont du mal à solutionner. Aussi pouvons-nous dire que, pour la région du Lac Alaotra, malgré les techniques d'adaptation utilisées et les moyens disponibles actuellement, les changements climatique et démographique entraînent une perte du point de vue économique et en même temps une diminution de la production rizicole, laquelle pourrait entraîner une insécurité alimentaire.

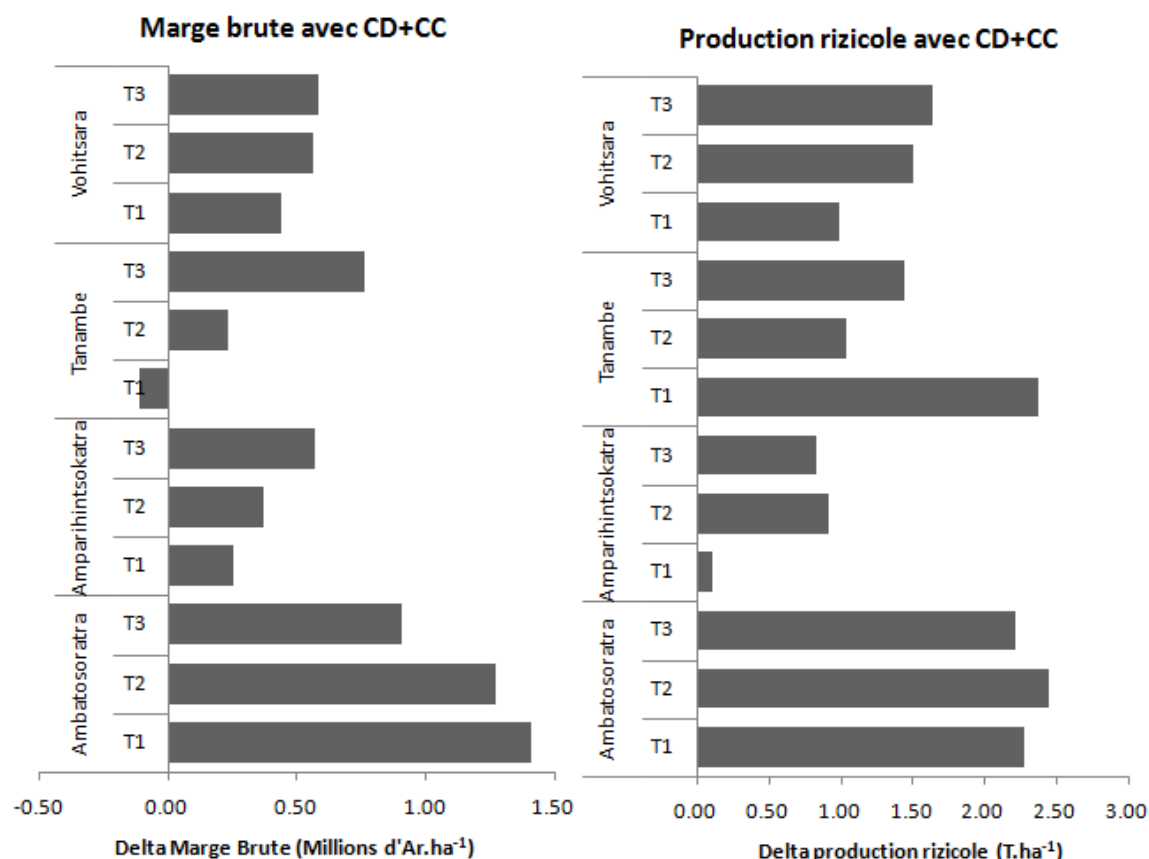


Figure 6-4 : Delta marge brute et production rizicole entre la situation actuelle et la situation avec changement climatique et démographique.

Supérieurs à zéro sont considérés comme vulnérables à ces facteurs.

III.4- Projection temporelle de la vulnérabilité en rapport avec la sécurité alimentaire

La quantité de besoin en riz d'une localité est en fonction de l'évolution du nombre de la population. Moins il y a de personnes et plus la courbe de la sécurité alimentaire peut s'étaler sur plusieurs années (Figure 6-5). Pour les localités situées à l'Est du Lac, avec le taux d'accroissement naturel actuel de 3.01% et une densité moyenne de 49.53 hab.km², il faut plus de 100 ans pour atteindre la barre de 20000 T de besoin en riz. Par contre, pour les

localités situées à l'Ouest du lac, malgré une densité faible par rapport à celle de l'Est (29.63 hab.km²) et un taux d'accroissement naturel de 3.39, la barre des 20000 T sera atteinte d'ici 50 ans pour la localité de Tanambe et aux environs de 100 ans pour celle de Vohitsara.

Par ailleurs, la production rizicole des localités varie en fonction de la productivité de chaque terroir. En effet, la production entre la situation actuelle et une situation avec changement climatique varie d'une localité à une autre. Ambatosoratra présente le plus de variabilité de la production rizicole avec un décalage d'environ 50 ans entre la situation actuelle et la situation avec changement climatique. Cette variation est due à la grande variabilité de la production des rizières au bord du lac et à la diversité de terroirs existants dans cette localité.

En outre, la vulnérabilité au changement démographique dépend à la fois de la superficie cultivée, du nombre de la population et de la productivité de chaque terroir. La notion de l'extensification de l'agriculture vient compenser (subvenir) les besoins alimentaires. Elle est ensuite relayée par le changement des pratiques et notamment le changement de l'utilisation des terres pour finir vers l'intensification agricole et le développement de nouvelles techniques. Malgré tout, l'évolution démographique, doublée de l'impact du changement climatique, réduit les ressources disponibles par personne, notamment la quantité de riz disponible pour assurer la sécurité alimentaire. Cela confirme les résultats de (Ronald, 1992) sur le fait qu'avec des ressources limitées, le monde d'aujourd'hui bute sur des limites difficiles à surmonter. Aussi, la sécurité alimentaire est-elle menacée à partir de l'année 2060 pour la localité d'Ambatosoratra. Elle commence à partir de 2100 pour la localité d'Amparihintsokatra. Bien que la localité de Tanambe soit considérée comme la moyennement vulnérable au changement climatique, sa vulnérabilité au changement démographique constitue une réelle menace pour la sécurité alimentaire. Doublée de l'effet du CC, cette situation est prévue d'ici 15 ans. En effet, à partir de 2025, le besoin alimentaire dépasse la quantité de riz produite pour le scénario avec changements climatique et démographique. Pour la localité de Vohitsara, la sécurité alimentaire est également menacée à partir de 2090.

Ainsi, on peut dire que, sans mesure prise pour limiter les effets du changement climatique, la marge des manœuvres pour le temps peut encore diminuer en fonction des pratiques.

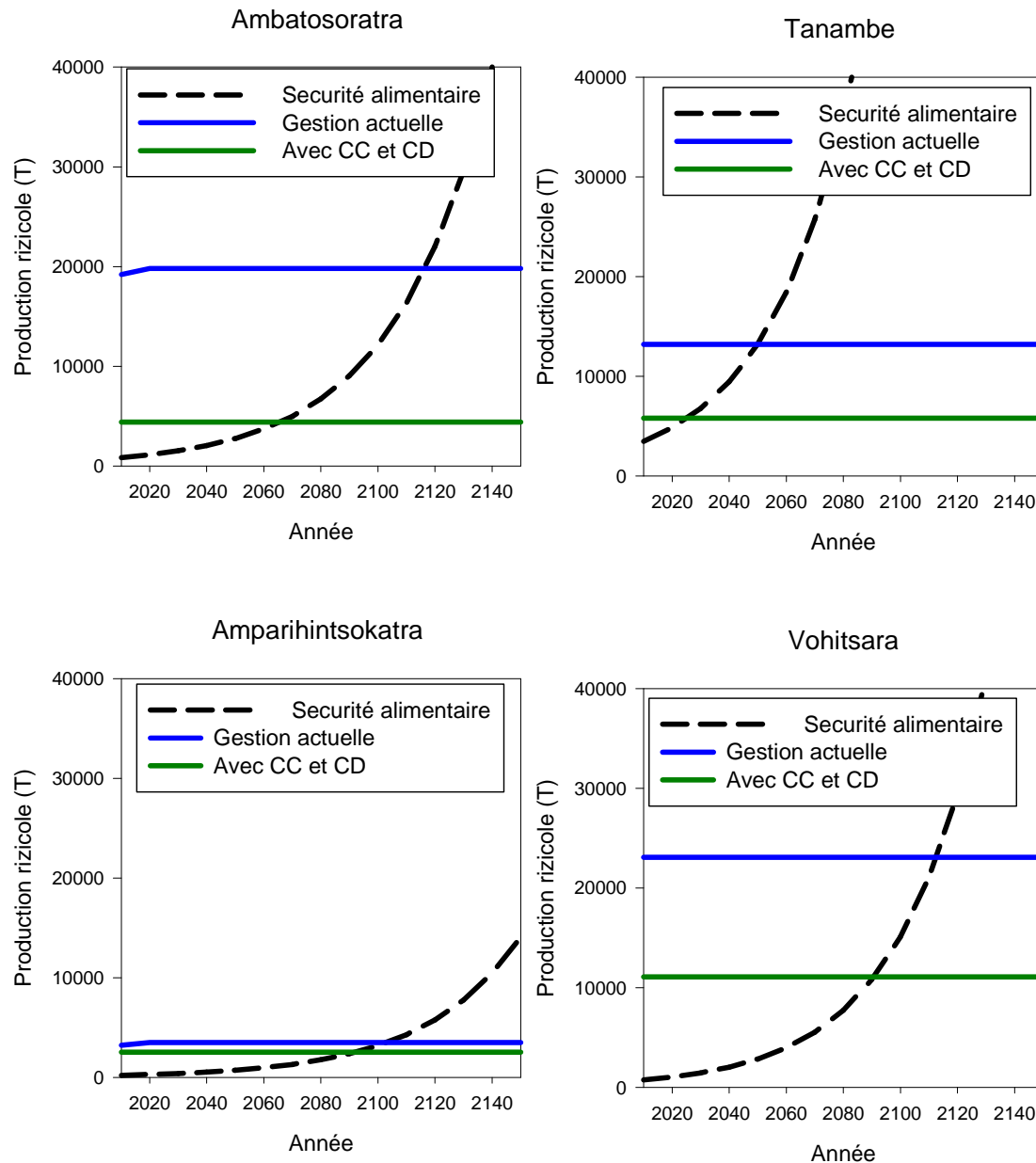


Figure 6-5: Evolution de la quantité de riz produite pour deux situations : avec la gestion actuelle des ressources (courbes en bleue) et avec changement climatique (courbe en vert) ; et du besoin en riz (courbe noire discontinue) ; en fonction du temps. L'intersection des trois courbes avec celle du besoin en riz pour la sécurité alimentaire constitue le début de l'insécurité alimentaire.

III.5- Techniques d'adaptation recommandées

En partant de l'évolution démographique, il y a une demande croissante de la consommation, aussi deux solutions ont-elles été proposées, à savoir l'augmentation de la superficie cultivée et le changement des pratiques agricoles. Généralement, la première solution est utilisée par la plupart des exploitants agricoles en premier recours. Malgré tout, une fois toutes les superficies cultivables utilisées, l'on assiste au passage à la seconde

solution. Cette dernière consiste à changer les pratiques agricoles. Cela constitue une solution face aux effets des changements climatique et démographique.

III.5.1- Priorisation des terroirs suivant les différents objectifs et selon les moyens

Avec la tendance vers un raccourcissement de la période de pluie qui entraîne une concentration des activités culturelles, la gestion des terroirs est une des techniques d'adaptation recommandée. Elle consiste à la priorisation des terroirs suivant les objectifs (maximisation de la marge brute, de la valeur de production, et de la production rizicole). En général, pour la localité d'Ambatosoratra, les terroirs irrigués sont prioritaires quels que soient les objectifs et la situation étudiée. Ainsi, les rizières situées au bord du lac se placent en premiers terroirs ayant été entièrement cultivés, tant avec la maximisation de la marge brute, de la valeur de production, qu'avec la maximisation de la production rizicole pour une situation sans changement climatique. Viennent ensuite successivement les rizières basses, les *Baiboho*, les rizières de bas fond, les rizières hautes et enfin les *Tanety*. Pour une situation avec changement climatique, ce sont plutôt les terroirs disposant d'une bonne maîtrise de l'eau (principalement des rizières de bas fond et les rizières basses) qui sont prioritaires. Cela vient du fait qu'en cas de perturbation de la pluviosité, ces types de terroirs assurent toujours une meilleure productivité agricole. Les *Tanety* tiennent toujours le dernier rang. Pour le cas de la localité d'Amparihintsokatra, les terroirs irrigués sont priorisés pour une situation sans changement climatique, notamment les rizières basses et les rizières de bas fond. Par contre, pour une situation avec un changement climatique, les tendances vont prioriser les terroirs pluviaux dont les *Baiboho* et les rizières hautes. Cela s'explique par le fait que la superficie cultivable de cette localité est la plus réduite des quatre localités étudiées. Aussi, pour assurer une meilleure production agricole en général, les exploitants doivent-ils assurer la production à la fois sur des terroirs irrigués que sur des terroirs pluviaux. Or, pour obtenir un meilleur rendement au niveau des ces derniers, il est nécessaire de profiter des jours de pluie, aussi seront-ils les premiers à être entièrement cultivés. A ceux-là s'ajoutent les terroirs dominants de la localité d'Amparihintsokatra. Les terroirs priorisés pour une situation sans changement climatique dans la localité de Tanambe sont (i) les rizières situées au bord du Lac pour la maximisation de la marge brute et de la production rizicole et (ii) les rizières hautes pour la maximisation de la valeur de production. Tandis que pour une situation avec un changement climatique, ce sont plutôt les rizières hautes et les *Baiboho* qui sont privilégiées. Cela vient du fait que la production des rizières basses, qui occupent la majorité des parcelles, est presque la même quelle que soit la situation à cause de la maîtrise de l'eau. Aussi, est-il nécessaire d'investir en premier lieu sur les terroirs pluviaux, plutôt que de le faire sur des terroirs irrigués où la production est plus ou moins assurée. Pour la localité de Vohitsara, du fait de l'absence de *Baiboho* et de rizières de bas fond, la priorité des terroirs est limitée à l'utilisation des *Tanety*, des

rizières au bord du lac, des rizières basses et des rizières hautes. En générale, les rizières hautes sont les premières à être entièrement cultivées, tant pour la situation sans changement climatique que pour une situation avec CC. Toutefois, avec la maximisation de la production rizicole d'une situation sans CC, les rizières au bord du lac passent au premier rang des terroirs prioritaires.

III.5.2- Une intensification de l'utilisation de fertilisants organiques et minéraux

Une fois la superficie saturée, la solution pour une amélioration de la production se focalise sur une intensification de l'agriculture. La fertilisation organique améliore la qualité du sol et contribue également à la production agricole. Comme c'est le cas des localités d'Ambatosoratra et d'Amparihintsokatra, le modèle propose une augmentation de la quantité de fumier utilisée pour améliorer la qualité du sol, notamment pour augmenter la capacité de rétention en eau des terroirs pluviaux. Ainsi, pour augmenter la production, il est nécessaire de mettre en valeur les *Tanety* (Rabeharisoa, 2004), et pour cela, l'augmentation de la quantité de fumier utilisée est indispensable. Par ailleurs, pour le cas des deux localités de l'Ouest, vu que la plupart des terres disponibles sont déjà cultivées ou que leur conquête va à un rythme très rapide avec un taux d'accroissement naturel relativement élevé, la solution proposée par le modèle se focalise sur l'augmentation de fertilisants minéraux utilisés.

III.5.3- Utilisation des moyens plus rapides

Étant donné que le changement climatique se manifeste par un raccourcissement de la période de pluie, l'utilisation des moyens mécaniques permet de gagner du temps, notamment dans les travaux de préparation du sol. Le motoculteur permet d'accélérer les travaux de mise en boue des rizières qui ont été faits jadis à l'aide de herbes à dents à traction animale. Son utilisation est indispensable si l'on veut mettre en culture beaucoup de surface pendant une saison de pluies raccourcie. Toutefois, l'utilisation de ce moyen reste encore très limitée car son accessibilité dépend surtout des moyens financiers à la disposition de chaque exploitation. Pourtant, le prix de ce type d'outils est relativement élevé pour les exploitants, d'autant plus que leur revenu dépend surtout de la production, laquelle est sujette à un aléa climatique. Ainsi, la plupart des exploitants agricoles, hormis ceux qui ont beaucoup de bénéfices, préfèrent ne pas prendre le risque d'en acheter au crédit avec comme gage de remboursement une production agricole incertaine.

III.5.4- Amélioration des infrastructures de maîtrise de l'eau

Outre les trois solutions proposées précédemment, une des solutions pour limiter les effets du changement climatique est l'amélioration des infrastructures pour maîtriser l'eau. En effet, en cas de poche de sécheresse, certains paysans couplent leur motoculteur avec une pompe à eau pour puiser l'eau afin d'irriguer leurs parcelles. Ce type d'adaptation permet

également d'avancer le calendrier cultural. La maîtrise de l'eau grâce à la présence de barrage de retenue a permis aux exploitants des deux localités de l'Ouest de limiter les effets négatifs du changement climatique. Tandis que, pour la localité d'Amparihintsokatra, la maîtrise de l'eau dans les rizières de bas fond a fortement contribué à maintenir une faible variation de la production agricole. Seule la localité d'Ambatosoratra, qui est non seulement dotée de plusieurs terroirs mais est également dépourvue de la maîtrise de l'eau, montre bien la variation de la production ainsi que celle du revenu agricole avec le changement climatique. Toutefois, les exploitants agricoles de cette localité essaient également de s'adapter à la situation en avançant la période de travail du sol. En effet, pour gagner du temps dans le calendrier cultural, les exploitants effectuent le labour juste après la récolte. Ainsi, lors de l'arrivée de pluie, il ne leur reste plus qu'à effectuer le hersage. La plante peut alors bénéficier de beaucoup plus de temps et de pluie pour son développement.

Conclusion

La variation de la pluviosité qui se manifeste par un raccourcissement de la période de pluie induit deux effets, l'effet direct sur la production agricole et les effets indirects qui se manifestent par la perturbation du calendrier cultural et de la gestion des ressources de chaque exploitation. Ces deux effets entraînent une diminution de la production. A cela s'ajoute l'effet de la croissance démographique qui réduit à la fois les ressources disponibles et les bénéfices par exploitation.

Malgré tout, la gestion des ressources et les innovations techniques permettent de limiter les effets de ces deux facteurs. L'accès et la maîtrise de l'eau permettent de limiter les influences indirectes du changement climatique. L'augmentation du nombre de main d'œuvre et des outils agricoles utilisés permet une extensification agricole, notamment celle de la superficie cultivée, et induit à une réduction de l'effet du changement démographique. L'intensification agricole par l'augmentation de la quantité de fertilisants utilisés permet de limiter le double effet des changements climatique et démographique. En termes de revenue économique, la localité d'Ambatosoratra est la plus vulnérable et celle d'Amparihintsokatra la moins vulnérable aux changements climatique et démographique. Par contre, la localité de Tanambe est la plus vulnérable en termes de sécurité alimentaire. L'évolution démographique constitue à la fois un avantage dans la capacité d'adaptation du fait qu'elle permet de se procurer de plus de main d'œuvre pour assurer les activités agricoles, mais également un inconvénient dans le sens où la sécurité alimentaire est menacée beaucoup plus rapidement.

La sécurité alimentaire dans le lac Alaotra tend à être menacée avec les changements climatique et démographique. D'après le résultat du modèle, la période dépend de la localité et de la situation qui prévaut dans chaque localité. Toutefois, avec le double effet des deux facteurs, cette période varie de 15 à 90 ans selon la localité. Sans aucune mesure prise à différents niveaux, cette situation risque de mettre en péril la sécurité alimentaire de toute l'île car la région alimente le tiers du riz commercialisé au niveau national.

Références bibliographiques

Abildtrup, J., E. Audsley, M. Fekete-Farkas, C. Giupponi, M. Gylling, P. Rosato and M. Rounsevell (2006). "Socio-economic scenario development for the assessment of climate change impacts on agricultural land use: a pairwise comparison approach." environmental science and policy **9**(101-115).

Action, P. e. (2003). "Résolutions de l'atelier national de la Fédération des femmes rurales malagasy (FVTM)." journal des paysans de Madagascar **25**.

Adger, W. N. (2006). " Vulnerability " Global Environmental Change(16): 268–281.

Andrianjanaka, F. (2007). Etude des séries évolutives des systèmes agraires en relation avec les changements climatiques dans la région d'Ambatondrazaka: Cas de Marololo. Agriculture. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo. **Ingeniorat**: 84.

BAD, B. A. d. D. (2003). Revue du secteur agricole Madagascar.

Becker, M. and D. E. Johnson (2001). "Improved water control and crop management effects on lowland rice productivity in West Africa." Nutrient Cycling in Agroecosystems : **59**: 119-127.

Bedoin, F. (2006). Etude des systèmes agraires de la petite région de Marololo. Institut National Agronomique Paris-Grignon. France, Paris. **Ingeniorat**: 81.

Belder, P., B. A. M. Bouman and J. H. J. Spiertz (2007). "Exploring options for water savings in lowland rice using a modelling approach." Agricultural Systems **92** 91–114.

Berrang-Ford, L., J. D. Ford and J. Paterson (2011). "Are we adapting to climate change? ." Global Environmental Change **21**: 25–33.

Blanc-Pamard, C. (1987). "Systèmes de production paysans et modèle rizicole intensif : deux systèmes en décalage L'exemple des riziculteurs de la SOMALAC sur les Hautes Terres centrales de Madagascar." Cah. Science. Humaine **23**(3-4): 507-531.

Bontkes T.S., v. K. H. (2003). "Modelling the dynamics of agricultural development at farm and regional level." Agricultural Systems **76**: 379-396.

Boserup, E. (1981). "Population Pressure and Technological Change: A Study of Long- Term Trends. ." University of Chicago Press,Chicago.

Boserup, E. (1985). "Economic and Demographic Interrelationships in sub-Saharan Africa." Population and Development Review **11**(No. 3): 383-397.

Brondizio, E. (2009). "Agriculture Intensification, Economic Identity, and Shared Invisibility in Amazonian Peasantry: Caboclos and Colonists in Comparative Perspective." Amazon Peasant Societies in a Changing Environment.

Brooks, N., W. N. Adger and P. M. Kelly (2005). "The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation." Global Environmental Change **15**: 151–163.

Brown, D. R. (2000). A Review of Bio-Economic Models, Paper prepared for the Cornell African Food Security and Natural Resource Management (CAFSNRM) Program: 100.

Brugere, C. and J. Lingard (2003). "Irrigation deficits and farmers' vulnerability in Southern India." Agricultural Systems **77** 65-88.

Castelan-Ortega, O. A., R. H. Fawcett, C. Arriaga-Jordan and M. Herrero (2003). "A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part I—Integrating biological and socio-economic models into a holistic system." Agricultural Systems **75**: 1-21.

D'Orgeval, T. (2008). "Impact du changement climatique sur la saison des pluies en Afrique de l'Ouest : que nous disent les modèles de climat actuels? ." Secheresse **19**(2): 79-85.

D'Orgeval, T. (2008). "Impact du changement climatique sur la saison des pluies en Afrique de l'Ouest : que nous disent les modèles de climat actuels ?" Sécheresse **19**(2): 79-85.

Dale, V. H. and S. Polasky (2007). "Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services." Ecological economics: 286-296.

Dorosh, P., S. Haggblade, C. Lungren, T. Razafimanantena and Z. Randriamiarana (2003). Moteurs Economiques pour la Réduction de la Pauvreté à Madagascar

Antananarivo : INSTAT.

Dovers (2009). "Normalizing adaptation." Global Environmental Change **19** 4-6.

Downing, T. E. (1991). "Vulnerability to hunger in Africa A climate change perspective." Global environmental change: 365-380.

Ducrot, R. (2002). Régulation d'une production en situation d'incertitude et de fortes contraintes : exemple des systèmes rizicoles du lac Alaotra (Madagascar). **thèse**.

Durand, C. (2007). Les paysans de l'Alaotra, entre rizières et tanety. Étude des dynamiques agraires et des stratégies paysannes dans un contexte de pression foncière.Lac Alaotra, Madagascar. **Mémoire d'Ingéniorat**: 121.

Easterling, W. E. (1990). "Climate trends and prospects in Natural Resources for the 21st century." American Forestry Association: 32-55.

Easterling, W. E., N. chhetri and X. Niu (2003). "Improving the realism of modeling agronomic adaptation to climate change: simulating technological substitution." Climatic Change **60**: 149-173.

English, M. J., K. H. Solomon and G. J. Hoffman (2002). "A Paradigm Shift in Irrigation Management." Journal of irrigation and drainage engineering: 267-277.

FAO, F. A. A. O. O. T. U. N. (2007). The state of food and agricultural:playing farmers for environmental services. Rome.

Fussel, H.-M. (2010). "How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment." Global Environmental Change **20** 597–611.

GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques.: 25p.

Giller K. E. , R. C., de Ridder N., van Keulen H. (2006). "Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time." Agricultural Systems **88**: 8-27.

Guibert H., A. U. C., Dimon R., Dedehouanou H., Vissoh P.V., Vodouhé S.D., Tossou C., Agbossou E.K.. (2010). Correspondances entre savoirs locaux et scientifiques : perceptions des changements climatiques et adaptations. Étude en région cotonnière du nord du Bénin. International symposium ISDA 2010. Innovation et sustainable development in agriculture and food : Abstracts and papers. C. Emilie., D. Hubert, S. Christophe and H. Bernard.

Harrington, J. B. (1987). "Climate change: a review of causes." Canadian Journal of Forest Research **17**: 1313-1339.

INSTAT (2006). Enquête Permanente auprès des Ménages 2004 Antananarivo.

INSTAT (2010). Population & démographie de Madagascar. Antananarivo.

INSTAT, E. P., IRD et GIE DIAL (2007). Dynamique rurales à Madagascar : perspectives sociales, économiques et démographiques

IPCC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques: rapport de synthèse: 205 p.

Keys, E. and W. J. McConnell (2005). "Global change and the intensification of agriculture in the tropics." Global Environmental Change **15**: 320–337.

Khush, G. S. (2005). "What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030." Plant Molecular Biology **59**: 1-6.

Koeijer, T. J. d., G. A. A. Wossink, M. K. v. Ittersum, P. C. Struik and J. A. Renkema (1999). "A conceptual model for analysing input-output coefficients in arable farming systems: from diagnosis towards design." Agricultural Systems **61**: 33-44.

L.Engle, N. (2011). "Adaptive capacity and it sassessment." Global EnvironmentalChange.

Laney, R. M. (2002). "Disaggregating induced intensification for land change analysis: a case study from Madagascar." Annals of the Association of American Geographers **92** (4): 702-726.

Laukkonen, J., P. K. Blanco, J. Lenhart, M. Keiner, B. Cavric and C. Kinuthia-Njenga (2009). "Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level." Habitat International **33** 287–292.

Lobell, D. B., M. B. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon and R. L. Naylor (2008). "Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030." SCIENCE **319**.

López, S. and R. Sierra (2011). "A resource demand model of indigenous production: The Jivaroan cultivation systems of Western Amazonia." Agricultural Systems **104**: 246–257.

Luers, A. L. (2005). "The surface of vulnerability:An analytical framework for examining environmental change." Global Environmental Change **15**: 214–223.

Luers, A. L. (2005). "The surface of vulnerability:An analytical framework for examining environmental change

" Global Environmental Change **15**: 214–223.

MAEP (2001). Fiche signalétique de l'observatoire. Antananarivo, Ministère-de-l'Agriculture-de-l'Elevage-et-de-la-Pêche.

Mamodjée, S. H. (2007). Analyse de la filière tomates en vue d'amélioration de la commercialisation: cas de la zone d'Ambatondrazaka. . Agro Management. Antananarivo, Antananarivo. **Ingéniorat**: 49.

Mazoyer, M. and L. Roudart, Eds. (1997). Histoire des agriculteurs du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. Edition du Seuil. Paris.

Minten, B. (2006). "Riz et pauvreté à Madagascar." Africa Region Working Paper **102**.

Minten, B., J. C. Randrianarisoa and L. Randrianarison (2003). Agriculture, Pauvreté rurale et Politiques Economiques à Madagascar. Working paper Ilo program Cornell, University/INSTAT/FOFIFA.

Mirza, M. M. Q. (2003). "Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?" Climate Policy **3**: 233-248.

Murage, E. W., N. K. Karanja, P. C. Smithson and P. L. Woomer (2000). "Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands." Agriculture, Ecosystems and Environment **79**(1-8).

Netting, R. M. (1993). Smallholders, householders: families and the ecology of intensive, sustainable agriculture. Stanford., University of Stanford Press,.

Octavio, A., C.Ortega, R. H. Fawcett, C. A.Jordan and M. Herrero (2003). "A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part II— Emulating the farming system." Agricultural Systems **75** 23-46.

Oustry, M. (2007). Analyse des causes de non remboursement des crédits au Lac Alaotra à Madagascar. Institut des régions chaudes de Montpellier SUPAGRO, Université de Montpellier. **Ingéniorat**.

Pan, W. K. Y., S. J. Walsh, R. E. Bilsborrow, B. G. Frizzelle, C. M. Erlien and F. Baquero (2004). "Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon

" Agriculture, Ecosystems and Environment **101**: 117-134.

Penot, E. (2009). Des savoirs aux savoirs faire : l'innovation alimente un front pionnier : le lac Alaotra de 1897 à nos jours. U. i. U. S. CIRAD ES and P. B. lac.

Plantegenest, M., C. L. May and F. Fabre (2007). "Landscape epidemiology of plant diseases." Journal of the Royal Society Interface **4**: 963-972.

PNUD (2010). Urbanisation et Aménagement du territoire.

Pontanier, R. and C. Floret (2003). Les indicateurs du fonctionnement et du changement du milieu rural. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Cameroun.

Rabeharisoa, L. (2004). Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Sciences Naturelles. Antananarivo, Université d'Antananarivo. **Doctorat d'Etat** 185.

Raison, J. P., Ed. (1972). Utilisation du sol et organisation de l'espace en Imerina ancienne. Mélanges des Géographie tropicale, ORSTOM.

Rakotondrazafy, H. (2007). Amélioration du système de commercialisation de la filière pomme de Terre sous couverture végétale de la zone d'intervention du projet BVLAC Agro Management. Antananarivo, Université d'Antananarivo. **Ingéniorat**.

Ranaivoarisoa, H. F., S. Ramanananarivo, R. Ramanananarivo and S. A. Gilon (2010). L'agriculture durable, élément de stratégie pour le développement rural communal. cas de la commune d'Ampitatafika- District d'Antanifotsy. Région du Vakinankaratra. Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food. Montpellier, France

Randrianaivo, D. (1982). Régime pluviométrique de la région du Lac Alaotra. . Filière Météorologique. Antananarivo, ESPA. **Mémoire de fin d'étude**: 35.

Rapport-national-d'investissement-Madagascar (2008). L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique Syrte, Jamahiriya Arabe Libyenne.

Razafimbelo, C. (1984). L'agriculture en Antsihanaka de 1820 à 1930. Contribution à l'histoire des Sociétés rurales Malgache. , Université de Paris VII. **Doctorat de 3ème cycle**: 404.

Razafimbelo, T. (2005). Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systemes en semis direct avec couverture végétale des hautes terres Malgaches. France, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. **Doctorat en science du sol**.

Ronald, D. I. (1992). "Croissance démographique, progrès et pauvreté." Population and Development Review **47**(6): 1533-1554.

Rosenzweig, M. R., H. P. Binswanger and J. McIntire (1988). "From land abundance to land scarcity: The effects of population growth on production relations in agrarian economies." In Ronald D. Lee et al. Population, food and rural development, Oxford: Clarendon Press.: 77-100.

Sahlins, M. D. (1972). "Stone Age Economics."

Santiago., L. and R. Sierra (2011). "A resource demand model of indigenous production: The Jivaroan cultivation systems of Western Amazonia." Agricultural Systems **104** 246–257.

Shapiro, D. (1995). "Population Growth, Changing Agricultural Practices, and Environmental Degradation in Zaire." Population and Environment **16**(No.3): 221-236.

Shepherd K.D., S. M. J. (1998). "Soil fertility management in west Kenya: dynamic simulation of productivity, profitability and sustainability at different resource endowment levels." Agriculture, Ecosystems and Environment (1998) **71**: 131-145.

Smit, B. and J. Wandel (2006). "Adaptation, adaptive capacity and vulnerability." Global Environmental Change **16**: 282-292.

T.J. de Koeijer, G. A. A. W., M.K. van Ittersum, P.C. Struik, J.A. Renkema (1999). "A conceptual model for analysing input-output coefficients in arable farming systems: from diagnosis towards design." Agricultural Systems **61**: 33-44.

Thornton, P. K., A. van de Steeg J. and M. H. Notenbaert (2009). "The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know." Agricultural Systems **101** 113-127.

Tilman, D. (1999). "Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices

" Proc. Natl. Acad. Sci. USA **96**: 5995-6000.

Tilman, D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor and S. Polasky (2002). "Agricultural sustainability and intensive production practices." Nature **418**

671-677.

Tittonell, P., M. T. v. Wijk, M. C. Rufino, J. A. Vrugt and K. E. Giller (2007). "Analysing trade-offs in resource and labour allocation by smallholder farmers using inverse modelling techniques: A case-study from Kakamega district, western Kenya " Agricultural Systems **95**: 76–95.

Tittonell, P., M. v. Wijk, N. d. Ridder and K. E. Giller (2005). FARMSIM – The prototype analytical tool for AfricaNUANCES. D. o. P. S. Plant Production Systems, Wageningen University.

Turner, B. L. and A. M. S. Ali (1996). "Induced intensification: Agricultural change in Bangladesh with implications for Malthus and Boserup." Proc. Natl. Academy. Science **93**: 14984–14991.

UPDR, U. d. P. p. I. D. R. (2003). Monographie de la région d'Ambatondrazaka. Antananarivo, Ministère de l'agriculture , de l'élevage et de la pêche.

Van Keulen, H. (1995). "Sustainability and long-term dynamics of soil organic matter and nutrients under alternative management strategies." **4**(Ecoregional Approaches for Sustainable Land Use.): 353-375.

Van Wijk M. T., T. P., Rufino M. C. , Herrero M., Pacini C., De Ridder N., Giller K. E. (2009). "Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM." Agricultural Systems **102**: 89-101.

VanWey, L. K., A. O. D'Antona and E. S. Brondizio (2007). "Household demographic change and land use/land cover change in the Brazilian Amazon." Popul Environ **28**: 163-185.

Vincent, K. (2007). "Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale." Global Environmental Change **17**: 12–24.

Viviane, R. M. (2007). Caractérisation des exploitations agricoles sur le périmètre irrigué PC 15 Vallée Marianina (Cas des Maïillles 11/12). Economie. Toamasina, Université de Toamasina.

Vrieling, A., K. M. d. Beurs and M. E. Brown (2011). "Variability of African farming systems from phenological analysis of NDVI time series." Climatic Change.

Vrugt, J. A., H. V. Gupta, L. A. Bastidas, W. Bouten and S. Sorooshian (2003). "Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models." Water Resources Research **39**: 1-19.

Wijk, M. T. v., P. Tittonell, M. C. Rufino, M. Herrero, C. Pacini, N. d. Ridder and K. E. Giller (2009). "Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM." Agricultural Systems **102**: 89–101.

Winterhalderl, B. (1980). "Environmental Analysis in Human Evolution and Adaptation Research." Human Ecology **Vol. 8**(2).

Conclusions générale, limites et perspectives.

Analyser et concevoir en termes de système agraire l'agriculture pratiquée à un moment et en un lieu donnés consiste à la décomposer en deux sous-systèmes principaux, l'écosystème cultivé et le système social productif, à étudier l'organisation et le fonctionnement de chacun de ces sous-systèmes, et à étudier leurs interrelations ([Mazoyer and Roudart, 1997](#)). Cette étude a permis d'identifier les différents composants du système et les facteurs pouvant influencer ce système. D'un côté, elle explore les relations entre ces composants à la fois pour décrire le mode de fonctionnement de différents types d'exploitation, et de l'autre, elle identifie et explore, à travers ce mode de fonctionnement, les techniques d'adaptation empiriques utilisées par les exploitants agricoles ainsi que les techniques idéales proposées par le modèle SEAA pour faire face aux changements démographique et climatique.

L'aspect scientifique et les savoirs locaux sont des travaux complémentaires mais pas différents. Malgré l'aspect contradictoire de la prévision météo et la perception paysanne sur la diminution de la période de pluie ([D'Orgeval, 2008](#)), la perception paysanne du changement climatique combinée avec le savoir scientifique permet de cerner le sujet ([Guibert H., 2010](#)). En effet, une étude des effets du changement climatique sur l'agriculture nécessite à la fois la perception paysanne qui explique les raisons des changements de pratiques et l'analyse des données climatiques issues des stations météorologique dans le but de valider cette perception du point de vue scientifique. Quoiqu'il en soit, les deux études confirment une tendance vers un raccourcissement de la période de pluies dans la région du lac Alaotra. Cette situation est comme une lame à double tranchant car elle affecte à la fois le mode de gestion de chaque exploitation et la productivité en général. La pérennité du système et le développement durable dépend du premier, tandis que la sécurité alimentaire dépend du second.

Une diminution de la productivité est alors constatée dans la région. Elle est traduite par une sensibilité réelle et par une sensibilité relative des exploitations agricoles, la sensibilité réelle étant l'effet direct dû à un stress hydrique. Une faible teneur en eau du sol peut induire à des effets négatifs sur la récolte voire à une diminution des rendements ([Belder et al., 2007](#)). Par contre, la sensibilité relative au changement climatique, qui se traduit par le changement des calendriers culturels, entraîne une diminution de la production à travers une diminution de la superficie cultivée. La perturbation de la période de pluie, notamment la tendance vers un raccourcissement de cette période, entraîne d'un côté, des stress au niveau des parcelles pluviales et la concentration des activités, de l'autre, ce qui induit à une priorisation des parcelles à travailler. Compte tenu de la sensibilité et de la capacité d'adaptation au

changement climatique, le stress lié à un raccourcissement de la période de pluie peut induire à une diminution de la production allant jusqu'à 40%. En plus, il est estimé que le décalage du temps causé par l'ignorance des agriculteurs à propos du changement progressif du climat, avant que ce changement ne soit identifié, ni que la stratégie de l'adaptation ne soit correctement appliquée, induit une pénalité d'équivalent à 20 ans sans rien faire, et que les adaptations ont toujours été en retard par rapport au changement du climat (Easterling *et al.*, 2003).

Par ailleurs, l'accroissement démographique entraîne, d'un côté, une extension des superficies cultivées, et, de l'autre, une intensification des moyens utilisés pour assurer la sécurité alimentaire. En effet, la première solution face à une pression démographique est l'augmentation de la superficie cultivée. Toutefois, quand cette dernière est saturée, on assiste au recours à l'intensification agricole par le biais de l'utilisation de moyens mécaniques, l'utilisation de fertilisants minéraux et de pesticides, etc.... Cela correspond au résultat de (Penot, 2009) qui stipule que la saturation du foncier de plaine rizicultivable avec une maîtrise plus ou moins bonne de l'eau amène les paysans, et les générations successives (leurs enfants, et les migrants) à coloniser de plus en plus les *Tanety* pour la diversification. Il avance également que la main d'œuvre n'apparaît pas limitante. Toutefois, c'est une réalité relative car, avec une actuelle tendance vers un raccourcissement de la période de pluie, les exploitants agricoles s'adaptent avec la quantité de main d'œuvre disponible (locale et extérieure), même si elle n'est pas suffisante. Pour y faire face, trois situations ont été observées : soit (i) en gérant la superficie cultivable de chaque exploitation, notamment de la gestion des terroirs, c'est-à-dire que certains terroirs ne sont pas cultivés, ou délaissés au profit d'autres, soit (ii) en ménageant le calendrier cultural, c'est-à-dire avancer ou retarder la période de certaines activités culturelles des terroirs qui ont le plus d'accès à l'eau (eg. Le travail du sol et le semis), soit (iii) en louant certaines parcelles aux paysans qui sont dotés de moyens mécaniques. Cette dernière solution dans le long terme, entraîne l'apparition de paysans sans terres, mais qui vivent seulement de leur force de travail.

En outre, l'utilisation de la main d'œuvre extérieure en ajout avec celles de l'intérieur devient de plus en plus fréquente, notamment avec la concentration des activités due au raccourcissement de la saison culturale. Cela confirme à la fois le résultat de (Boserup, 1981; Boserup, 1985) qui avance que l'augmentation de la population entraîne une intensification de l'utilisation de la main d'œuvre et un investissement sur le sol (Rosenzweig *et al.*, 1988; Shapiro, 1995); et celui de (Penot, 2009) qui avance que l'utilisation de la main d'œuvre temporaire et/ou extérieure pour les travaux nécessitant une force de travail, tels que labour attelé, le repiquage, les sarclages et la récolte dans la région du lac Alaotra, se fait de manière intensive et pour tous les types d'exploitations agricoles.

Le mode de gestion des terroirs et l'occupation des sols induisent à une rentabilité économique différente. Cela pourrait être exploité à la fois en termes d'adaptation au

changement démographique et à la variabilité climatique. Une productivité agricole améliorée peut faire une différence importante en termes de pauvreté et de sécurité alimentaire (Octavio *et al.*, 2003; Minten, 2006), la sécurité alimentaire, qui, dans certains pays africains de l'Est, dépend de la productivité et de la gestion de sols par les exploitants agricoles (Murage *et al.*, 2000). En effet, pour une même quantité de ressources disponibles, la gestion des terroirs entraîne une différence dans la production et peut limiter ou accentuer le risque de la sécurité alimentaire. Toutefois, cette gestion doit tenir compte à la fois de la rentabilité économique et de la pérennité du système en vue d'une gestion durable des ressources.

Cette étude a permis d'évaluer la vulnérabilité du système agraire basée sur la riziculture dans la région du Lac Alaotra, face à une variation de la période de pluie et à une évolution démographique. Grâce à l'outil de modélisation, les influences de la variation de la période de pluie sur le système, notamment les effets indirects (changement des pratiques et ses effets sur la production), et les effets de l'augmentation de la population ont été combinés pour quantifier la vulnérabilité du système sur une projection de 150 ans.

Au cours de cette étude, l'hypothèse 1 qui stipule que les pratiques agricoles varient en fonction des catégories d'exploitations a été vérifiée. En effet, différentes pratiques existent dans la région et elles varient non seulement en fonction des types d'exploitations mais également suivant les différentes localités. Au niveau des types d'exploitation, les pratiques dépendent de la superficie cultivée et de leur distribution sur les terroirs existants. Tandis qu'au niveau des localités, à ces deux critères s'ajoutent les moyens utilisés (outils agricoles, et le type de fertilisation utilisée). L'hypothèse 2 est également vérifiée : l'évolution du système est liée aux changements démographiques par le biais des apports de nouvelles techniques et technologie par les immigrants. Par ailleurs, elle est liée au changement climatique par l'extensification agricole (conquête des *Tanety*) et l'utilisation des moyens plus rapides (mécanique) et des variétés de cultures à cycle court. L'hypothèse 3 a été vérifiée : non seulement, le modèle permet de décrire la situation actuelle et son mode de fonctionnement, mais également, il prédit son évolution en fonction de la quantité de surfaces et de main d'œuvre disponibles. Ainsi, les effets des changements climatiques et démographiques sur le système ont été projetés sur 150 ans. L'hypothèse 4 est vérifiée en partie. L'accessibilité à plusieurs terroirs permet une diversification des cultures et, par conséquent, peut limiter les effets des changements climatiques. Par contre, elle ne réduit pas les effets du changement démographique car, malgré une augmentation de la superficie cultivée et une diversification des terroirs, le revenu par individu est toujours en baisse.

Limites et Perspectives

- La vulnérabilité a été évaluée à partir de la production des saisons culturales durant l'étude. Ainsi, la variation du climat a été appréciée de manière qualitative (bonne et mauvaise année culturale). Pour une étude quantitative liée directement à la variation du climat, il est nécessaire d'avoir non seulement des données quantitatives de la pluviosité mais également des données agricoles correspondantes sur plusieurs années. Toutefois, il est difficile de trouver en milieu paysan des parcelles avec les mêmes historiques et les mêmes pratiques. Aussi, hormis, le cas d'un dispositif expérimental avec une simulation de pluie, pour le cas de la sensibilité réelle, est-il difficile d'attribuer la variation de la production uniquement au facteur climatique.
- Une étude de la vulnérabilité de la production agricole peut être réalisée de deux manières. La première consiste à une méthode par élimination des effets des autres facteurs sur la production pour ne plus avoir que l'effet climatique ; la seconde consiste à une étude réalisée sur un dispositif expérimental.
- Cette étude est basée sur des données issues des enquêtes. Les exploitants agricoles, dans leurs réponses, peuvent arrondir des chiffres (par exemple, dans le calcul de rendement agricole, l'unité de mesure du riz dans la région est le vata (un récipient qui équivaut à 14 Kg de paddy). Toutefois, lors des visites sur le terrain, cela peut aller jusqu'à 15 Kg selon le remplissage de ce récipient par les exploitants agricoles, ce qui pourrait avoir des impacts sur le mode de calcul.
- Dans l'étude de la production, il est nécessaire de tenir compte des caractéristiques physiques et chimiques liés au sol, lequel est un des principaux déterminants de la production agricole.
- Il est également nécessaire de montrer les résultats des enquêtes aux paysans et responsables administratifs, pour que les premiers puissent comparer le résultat obtenu avec ce qu'ils font réellement et aussi, connaître d'autres modes de gestion des exploitations. Egalement, les responsables administratifs pourront orienter leur politique de développement en fonction des différents scénarii d'objectifs simulés dans cette étude.
- Il est aussi important de tester les différentes pratiques d'adaptation identifiées dans cette étude au niveau des paysans.
- L'étude concerne une région seulement (celle du Lac Alaotra), il est ainsi nécessaire de faire de même pour d'autres régions telles que celles de l'Est de l'île, dans un objectif de production de cultures de rente, ou encore dans des régions dont la manifestation de la variation climatique est différente.

Références Bibliographiques

- A.Octavio, C.Ortega, Fawcett, R.H., A.Jordan, C. and Herrero, M., 2003. A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part II— Emulating the farming system. *Agricultural Systems*, 75 23-46.
- Abildtrup, J., Audsley, E., Fekete-Farkas, M., Giupponi, C., Gylling, M., Rosato, P., Rounsevell, M., 2006. Socio-economic scenario development for the assessment of climate change impacts on agricultural land use: a pairwise comparison approach. *environmental science and policy* 9(101-115).
- Action, 2003. Résolutions de l’atelier national de la Fédération des femmes rurales malagasy (FVTM). *Journal des paysans de Madagascar*, 25.
- Adger, W. N. (2006). " Vulnerability " Global Environmental Change(16): 268–281.
- Andrianjanaka, F., 2007. Etude des séries évolutives des systèmes agraires en relation avec les changements climatiques dans la région d'Ambatondrazaka: Cas de Marololo, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, 84 pp.
- BAD, (2003). *Revue du secteur agricole Madagascar*
- Becker, M. and D. E. Johnson (2001). "Improved water control and crop management effects on lowland rice productivity in West Africa." *Nutrient Cycling in Agroecosystems*:59: 119-127
- Bedoin, F., 2006. Etude des systèmes agraires de la petite région de Marololo, Paris, France, 81 pp.
- Belder, P., Bouman, B.A.M., Spiertz, J.H.J., 2007. Exploring options for water savings in lowland rice using a modelling approach. *Agricultural Systems* 92 91–114.
- Berrang-Ford, L., Ford, J.D., Paterson, J., 2011. Are we adapting to climate change?. *Global Environmental Change* 21, 25–33.
- Blanc-Pamard, C., 1987. Systèmes de production paysans et modèle rizicole intensif : deux systèmes en décalage L’exemple des riziculteurs de la SOMALAC sur les Hautes Terres centrales de Madagascar. *Cah. Science. Humaine* 23(3-4), 507-531.
- Bontkes T.S., v.K.H., 2003. Modelling the dynamics of agricultural development at farm and regional level. *Agricultural Systems* 76, 379-396.
- Boserup, E., 1981. *Population Pressure and Technological Change: A Study of Long- Term Trends*. . University of Chicago Press, Chicago.

- Boserup, E., 1985. Economic and Demographic Interrelationships in sub-Saharan Africa. *Population and Development Review* 11(No. 3), 383-397.
- Brondizio, E., 2009. Agriculture Intensification, Economic Identity, and Shared Invisibility in Amazonian Peasantry: Caboclos and Colonists in Comparative Perspective. *Amazon Peasant Societies in a Changing Environment*.
- Brooks, N., Adger, W.N., Kelly, P.M., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151–163.
- Brown, D.R., 2000. A Review of Bio-Economic Models. Paper prepared for the Cornell African Food Security and Natural Resource Management (CAFSNRM) Program, pp. 100.
- Brugere, C., Lingard, J., 2003. Irrigation deficits and farmers' vulnerability in Southern India. *Agricultural Systems* 77 65-88.
- Castelan-Ortega, O.A., Fawcett, R.H., Arriaga-Jordan, C., Herrero, M., 2003. A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part I—Integrating biological and socio-economic models into a holistic system. *Agricultural Systems* 75, 1-21.
- Dale, V. H. and S. Polasky (2007). "Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services." *Ecological economics*: 286-296.
- Dorosh, P., S. Haggblade, et al. (2003). *Moteurs Economiques pour la Réduction de la Pauvreté à Madagascar*. Antananarivo : INSTAT.
- D'Orgeval, T., 2008. Impact du changement climatique sur la saison des pluies en Afrique de l'Ouest : que nous disent les modèles de climat actuels ? *Sécheresse* 19(2), 79-85.
- Dovers, 2009. Normalizing adaptation. *Global Environmental Change* 19 4-6.
- Downing, T.E., 1991. Vulnerability to hunger in Africa A climate change perspective. *Global environmental change*, 365-380.
- Ducrot, R., 2002. Régulation d'une production en situation d'incertitude et de fortes contraintes : exemple des systèmes rizicoles du lac Alaotra (Madagascar).
- Durand, C. (2007). Les paysans de l'Alaotra, entre rizières et *Tanety*. Étude des dynamiques agraires et des stratégies paysannes dans un contexte de pression foncière. Lac Alaotra, Madagascar. *Mémoire d'Ingéniorat*: 121.

- Easterling, W. E. (1990). "Climate trends and prospects in Natural Resources for the 21st century." American Forestry Association: 32-55.
- Easterling, W.E., chhetri, N., Niu, X., 2003. Improving the realism of modeling agronomic adaptation to climate change: simulating technological substitution. *Climatic Change* 60, 149-173.
- English, M.J., Solomon, K.H., Hoffman, G.J., 2002. A Paradigm Shift in Irrigation Management. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 267-277.
- FAO, (2007). The state of food and agricultural: playing farmers for environmental services. Rome
- Fussler, H.-M. (2010). "How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment." Global Environmental Change **20** 597–611
- GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques.: 25p
- Giller K. E. , R.C., de Ridder N., van Keulen H. , 2006. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. *Agricultural Systems* 88, 8-27.
- Guibert H., A.U.C., Dimon R., Dedehouanou H., Vissoh P.V., Vodouhé S.D., Tossou C., Agbossou E.K.. 2010. Correspondances entre savoirs locaux et scientifiques : perceptions des changements climatiques et adaptations. Étude en région cotonnière du nord du Bénin. In: C. Emilie., D. Hubert, S. Christophe, H. Bernard (Eds.), International symposium ISDA 2010. Innovation et sustainable development in agriculture and food : Abstracts and papers.
- Harrington, J. B. (1987). "Climate change: a review of causes." Canadian Journal of Forest Research **17**: 1313-1339.
- INSTAT, 2006. Enquête Permanente auprès des Ménages 2004 Antananarivo.
- INSTAT (2007). Dynamique rurales à Madagascar : perspectives sociales, économiques et démographiques.
- INSTAT (2010). Population & démographie de Madagascar. Antananarivo.
- IPCC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques: rapport de synthèse: 205 p.
- Keys, E., McConnell, W.J., 2005. Global change and the intensification of agriculture in the tropics. *Global Environmental Change* 15, 320–337.

- Khush, G. S. (2005). "What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030." Plant Molecular Biology **59**: 1-6.
- Koeijer, T. J. d., G. A. A. Wossink, et al. (1999). "A conceptual model for analysing input-output coefficients in arable farming systems: from diagnosis towards design." Agricultural Systems **61**: 33-44.
- L.Engle, N., 2011. Adaptive capacity and its assessment. *Global Environmental Change*.
- Laney, R.M., 2002. Disaggregating induced intensification for land change analysis: a case study from Madagascar. *Annals of the Association of American Geographers* 92 (4), 702-726.
- Laukkonen, J., Blanco, P.K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B., Kinuthia-Njenga, C., 2009. Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International* 33 287–292.
- Lobell, D. B., M. B. Burke, et al. (2008). "Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030." SCIENCE **319**.
- López, S., Sierra, R., 2011. A resource demand model of indigenous production: The Jivaroan cultivation systems of Western Amazonia. *Agricultural Systems* 104, 246–257.
- Luers, A.L., 2005. The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change* 15, 214–223.
- MAEP, 2001. Fiche signalétique de l'observatoire, Ministère-de-l'Agriculture-de-l'Elevage-et-de-la-Pêche, Antananarivo.
- Mamodjée, S.H., 2007. Analyse de la filière tomates en vue d'amélioration de la commercialisation: cas de la zone d'Ambatondrazaka. , Antananarivo, Antananarivo, 49 pp.
- Mazoyer, M., Roudart, L. (Eds.), 1997. Histoire des agriculteurs du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. Edition du Seuil, Paris, 546 pp.
- Minten, B., 2006. Riz et pauvreté à Madagascar. *Africa Region Working Paper* 102.
- Minten, B., Randrianarisoa, J.C., Randrianarison, L., 2003. Agriculture, Pauvreté rurale et Politiques Economiques à Madagascar, Working paper Ilo program Cornell. University/INSTAT/FOFIFA.
- Mirza, M. M. Q. (2003). "Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?" Climate Policy **3**: 233-248.

- Murage, E.W., Karanja, N.K., Smithson, P.C., Woomer, P.L., 2000. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79(1-8).
- Murage, E.W., Karanja, N.K., Smithson, P.C., Woomer, P.L., 2000. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79(1-8).
- Netting, R.M., 1993. Smallholders, householders: families and the ecology of intensive, sustainable agriculture. University of Stanford Press,, Stanford.
- Octavio, A., C.Ortega, Fawcett, R.H., A.Jordan, C., Herrero, M., 2003. A Decision Support System for smallholder campesino maize–cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part II— Emulating the farming system. *Agricultural Systems* 75 23-46.
- Oustry, M. (2007). Analyse des causes de non remboursement des crédits au Lac Alaotra à Madagascar. Institut des régions chaudes de Montpellier SUPAGRO, Université de Montpellier. Ingéniorat.
- Pan, W.K.Y., Walsh, S.J., Bilsborrow, R.E., Frizzelle, B.G., Erlien, C.M., Baquero, F., 2004. Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101, 117-134.
- Penot, E., 2009. Des savoirs aux savoirs faire : l'innovation alimente un front pionnier : le lac Alaotra de 1897 à nos jours.
- Plantegenest, M., May, C.L., Fabre, F., 2007. Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society Interface* 4, 963-972.
- PNUD (2010). Urbanisation et Aménagement du territoire.
- Pontanier, R., Floret, C., 2003. Les indicateurs du fonctionnement et du changement du milieu rural, Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Cameroun.
- Rabeharisoa, L. (2004). Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Sciences Naturelles. Antananarivo, Université d'Antananarivo. **Doctorat d'Etat** 185.
- Rakotondrazafy, H., 2007. Amélioration du système de commercialisation de la filière pomme de Terre sous couverture végétale de la zone d'intervention du projet BVLAC Université d'Antananarivo, Antananarivo.

- Razafimbelo, C., 1984. L'agriculture en Antsihanaka de 1820 à 1930. Contribution à l'histoire des Sociétés rurales Malgache. , Université de Paris VII, 404 pp.
- Ranaivoarisoa, H. F., S. Ramanananarivo, et al. (2010). L'agriculture durable, élément de strategie pour le développement rural communal. cas de la commune d'Ampitatafika-District d'Antanifotsy. Région du Vakinakaratra. Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food. Montpellier, France
- Randrianaivo, D. (1982). Régime pluviométrique de la région du Lac Alaotra. . Filière Météorologique. Antananarivo, ESPA. Mémoire de fin d'étude: 35.
- Rapport-national-d'investissement-Madagascar (2008). L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique Syrte, Jamahiriya Arabe Libyenne.
- Razafimbelo, T. (2005). Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systemes en semis direct avec couverture végétale des hautes terres Malgaches. France, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Doctorat en science du sol
- Ronald, D.I., 1992 Croissance démographique, progrès et pauvreté. Population and Development Review 47(6), 1533-1554.
- Rosenzweig, M.R., Binswanger, H.P., McIntire, J., 1988. From land abundance to land scarcity: The effects of population growth on production relations in agrarian economies. In Ronald D. Lee et al. Population, food and rural development, Oxford: Clarendon Press., 77-100.
- Sahlins, M.D., 1972. Stone Age Economics.
- Shapiro, D., 1995. Population Growth, Changing Agricultural Practices, and Environmental Degradation in Zaire. Population and Environment 16(No.3), 221-236.
- Shepherd K.D., S.M.J., 1998. Soil fertility management in west Kenya: dynamic simulation of productivity, profitability and sustainability at different resource endowment levels. Agriculture, Ecosystems and Environment (1998) 71, 131-145.
- Smit, B., Wandel, J., 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change 16, 282-292.
- T.J. de Koeijer, G.A.A.W., M.K. van Ittersum, P.C. Struik, J.A. Renkema 1999. A conceptual model for analysing input-output coefficients in arable farming systems: from diagnosis towards design. Agricultural Systems 61, 33-44.

- Thornton, P.K., van de Steeg J. , A., Notenbaert, M.H., 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems* 101 113-127.
- Tilman, D., 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 5995-6000.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418; 671-677.
- Tittonell, P., Wijk, M.T.v., Rufino, M.C., Vrugt, J.A., Giller, K.E., 2007. Analysing trade-offs in resource and labour allocation by smallholder farmers using inverse modelling techniques: A case-study from Kakamega district, western Kenya *Agricultural Systems* 95, 76–95.
- Tittonell, P., Wijk, M.v., Ridder, N.d., Giller, K.E., 2005. FARMSIM – The prototype analytical tool for AfricaNUANCES, Wageningen University.
- Turner, B.L., Ali, A.M.S., 1996. Induced intensification: Agricultural change in Bangladesh with implications for Malthus and Boserup. *Proc. Natl. Academy. Science* 93, 14984–14991.
- UPDR, 2003. Monographie de la région d'Ambatondrazaka. Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, Antananarivo.
- Van Keulen, H., 1995. Sustainability and long-term dynamics of soil organic matter and nutrients under alternative management strategies. 4(Ecoregional Approaches for Sustainable Land Use.), 353-375.
- Van Wijk M. T., T.P., Rufino M. C. , Herrero M., Pacini C., De Ridder N., Giller K. E. , 2009. Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM. *Agricultural Systems* 102, 89-101.
- VanWey, L.K., D'Antona, A.O., Brondizio, E.S., 2007. Household demographic change and land use/land cover change in the Brazilian Amazon. *Popul Environ* 28, 163-185.
- Vincent, K., 2007. Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. *Global Environmental Change* 17, 12–24.
- Viviane, R.M., 2007. Caractérisation des exploitations agricoles sur le périmètre irrigué PC 15 Vallée Marianina (Cas des Mailles 11/12), Université de Toamasina, Toamasina.

- Vrieling, A., K. M. d. Beurs, et al. (2011). "Variability of African farming systems from phenological analysis of NDVI time series." Climatic Change.
- Vrugt, J.A., Gupta, H.V., A.Bastidas, L., Bouten, W., Sorooshian, S., 2003. Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models. *Water Resources Research* 39, 1-19.
- Winterhalderl, B., 1980. Environmental Analysis in Human Evolution and Adaptation Research. *Human Ecology* Vol. 8(2).

Annexe

Annexe 1 : Caractéristiques de chaque localité

Localité	Superficie cultivable	total Area	Familles	Taille de l'exploitation	MO
Ambatosoratra	5966	23600	1400	5.02	2.57
Amparihintsoatra	2131	19800	350	5.27	3.07
Tanambe	3131	6800	3994	7.25	3.25
Vohitsara	6399	7400	1117	5.60	3.40

Annexe 2 : Caractéristiques des ménages

Localité	Type d'exploitation	Taille de la famille	Actif	Enfant scolarisé	Main d'œuvre permanent	Nombre de bœufs en possession
Ambatosoratra	1	5.04	2.73	1.52	1	10.19
	2	4.76	2.48	1.93	1.64	11.27
	3	5.44	2.56	2.25	1.67	9.11
Amparihintsoatra	1	5.3	3.5	2	1.67	8.5
	2	5.67	2	3	1.67	8.33
	3	4.5	2.5	1.5	1	6.5
Tanambe	1	8	1	7	0	0
	2	5	2	3	0	8
	3	7	3.5	2.79	1.78	5.86
Vohitsara	1	7.5	3.5	3	2	1.5
	2	5	3	2	0	0
	3	5.75	3.42	2.6	1.4	4.33

Annexe 3: Superficie cultivée en Are

Région	Type	<i>Baiboho</i>	RB	RBF	RBL	RH	<i>Tanety</i>
Ambatosoratra	1	64	85	81	100	141	157
	2	39	197	100	148	149	101
	3	90	258	40	613	145	72
Amparihintsokatra	1	50	100	137		141	444
	2	25	150	313			375
	3			145			40
Tanambe	1	100	240			100	800
	2	70	250				200
	3	45	449		100	100	33
Vohitsara	1		150			350	150
	2		130		150	200	
	3		397		412	50	8

Annexe 4: Programation du modèle

*E1 Model AlaotraAD /

* -----

*Activities definitions

* -----

SETS

Loc Localities

Cvar Crops variety

LT Land type

Eq Equipement

Seed Seedling

IND Indicators All

IND Indicators current year

* -----

* Activities description

* SETS ACTIVITIES

*STSeasons

*seche

*Moy

*pluv /

*-----
-----;

SETS

Loc "Localities"/

* Amb Ambatosoratra

* Amp Amparihintsokatra

* Tan Tanambe

Voh Vohitsara/

Cvar "Crops variety"/

riceLc Rice_long_cycle

riceMc Rice_Moyen_cycle

riceSc Rice_short_cycle

peanutLc Peanut_long_cycle

peanutSc Peanut_Short_cycle

Beans Beans

cassava Cassava

maize Maize

onion Onion

tomatoes Tomatoes

Sug Sugarcane

SP Sweet_Potatoes

J Jachere/

LT "Land type"/

BR Bank river

SV Small Valley

LNL Land Near the Lake

HL High land

LL Low land

UL Up land/

Eq Equipement/

mec Mechanized

at Attele/

Seed Seedling/

Poq Poquet

Rep Repique

Vol	Volee/	Des1_P	Desherbage_price (Ar)
IND INDICATORS /	Lb Labour	Des2_P	Desherbage_price (Ar)
Rc	Roue_cage	Coupe_P	Coupe_price (Ar)
Canl	Cannalisation	MeM_P	Mise_en_meule_price (Ar)
Decap	Decapage	Bat_P	Battage_price (Ar)
Sem	Semis	Manure_P	Manure_price (Ar)
Rep	Repiquage	uree_P	Uree_price (Ar)
Des1	Desherbage1	NPK_P	NPK_price (Ar)
Des2	Desherbage2	Herb_P	Herbicide_price (Ar)
Coupe	Coupe	Insec_P	Insecticide_price (Ar)
Mem	Mise_en_meule	Tlab_P	Total_labour_price (Ar)
Bat	Battage	Seed_P	seed_price (Ar)
Tlab	Total_Main d'oeuvre	Fert_P	fertiliser_price(Ar)
Seed	Quantité de semence à l'ha	Pesti_P	Pesticide_price (Ar)
manure	Manure quacity use (kg)	Y	Yield (T)
uree	N fertiliser (46%)(Kg)	RY	Rice_yield (T)
NPK	(11-22-16)(Kg)	CP	Cost of production (Ar)
Herb	Herbicide (L)	VP	Valeur_de_production moy (Ar)
Insec	Insecticide (L)	VP1	Valeur_de_production_max (Ar)
Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul,		VP2	Valeur_de_production_min (Ar)
Aug, Sep, Oct, Nov, Dec		MB	Gross_margin_ _moy (Ar)
Lb_Pr	Labour_Price_per mandays	MB1	Gross_margin_max (Ar)
Lb_P	Labour Price (Ar)	MB2	Gross_margin_min (Ar)/ ;
RC_P	Roue_cage_price (Ar)	* -----	
Canl_P	Cannalisation_Price (Ar)	*coefficients techniques	
Decap_P	Decapage_price (Ar)	* -----	
Sem_P	Semis_price (Ar)	*indicateurs pour l'année moyenne	
Rep_P	Repiquage_Price (Ar)	Parameters	

INDICATORS(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed,IND)

```
$call 'gdxxrw.exe
input=C:\Gamdon\data4.xls
output=C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\INDICATORS.gdx par=INDICATORS
rng=INDB!a1:bw5617 CDIM=1 RDIM=5'
```

```
$GDxin
C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\INDICATORS.gdx
```

\$LOAD INDICATORS

\$GDxin

*bn4753;

*indicators de terre cultivée(terroir et par région)

Parameter

LAND(LT,Loc)

```
$call 'gdxxrw.exe
input=C:\Gamdon\data4.xls
output=C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\LAND.gdx par=LAND rng=LAND!n1:r7
CDIM=1 RDIM=1'
```

```
$GDxin
C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\LAND.gdx
```

\$LOAD LAND

\$GDxin;

*indicators pour la main d'oeuvre disponible

Parameter

LABOUR(IND,Loc)

```
$call 'gdxxrw.exe
input=C:\Gamdon\data4.xls
output=C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\LABOUR.gdx par=LABOUR
rng=LABOUR!s1:x15 CDIM=1 RDIM=1'
```

\$GDxin

```
C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\LABOUR.gdx
```

\$LOAD LABOUR

\$GDxin;

*indicateur de la sécurité alimentaire (per subregion)

Parameter

SECALI(Loc,IND)

```
$call 'gdxxrw.exe
input=C:\Gamdon\data4.xls
output=C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\SECALI.gdx par=SECALI
rng=SECALI!a1:b5 CDIM=1 RDIM=1'
```

```
$GDxin
C:\Gamdon\Currentyear\Vohitsara\SECALI.gdx
```

\$LOAD SECALI

\$GDxin;

*\$ontext

Parameter

TargetLabour

*TargetRICE

*\$offtext;

*targetLabVohC

*targetRYVohC;

*-----

* 1.6 Declaration des variables

*-----

positive VARIABLES

*qualitative variable

vAREA(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ;

free variable	*variable manure per region
*Vohitsara	vmanure
*labour and PER REGION	*Uree
vLabC	vuree
*Marge brute pour le moyen prix de récolte PER REGION for the current year	*NPK
vMBC	vNPK
*Marge brute pour le max prix de récolte PER REGION for the current year	*Herb
vMB1C	vHerb
*Marge brute pour le plus bas prix de récolte PER REGION for the current year	*Insec Insecticide_price (Ar)
vMB2C	vInsec
*Valeur de production pour le prix moyen de récolte PER REGION for the current year	*labour PER MONTH and PER REGION
vVPC	*Vohitsara
*Valeur de production pour le meilleur prix de récolte PER REGION for the current year	vCJan
vVP1C	vCFeb
*Valeur de production pour le plus bas prix de récolte PER REGION for the current year	vCMar
vVP2C	vCApr
*Rice production PER SEASON and PER REGION	vCMay
vRYC	vCJun
*Cost of production per subregion	vCJul
vCPC	vCAug
	vCSep
	vCOct
	vCNov
	vCDec
	;
	* Declaration des equations
*FERTILISATIONS	* -----

EQUATIONS

*Total land type available

eLAND(loc,LT)

*land per subregion

eLAND_Voh(LT) ;

*equations indicators

EQUATIONS

*-----

* EQUATIONS INDICATORS

* -----

*Vohitsara

*labour per subregion for the current year

eLabC

*Marge brute pour le moyen prix de
récolte PER REGION for the current year

eMBC

*Marge brute pour le meilleur prix de
récolte PER REGION for the current year

eMB1C

*Marge brute pour le plus bas prix de
récolte PER REGION for the current year

eMB2C

*Valeur de production pour le moyen prix
de récolte PER REGION for the current
year

eVPC

*Valeur de production pour le meilleur
prix de récolte PER REGION for the current
year

eVP1C

*Valeur de production pour le plus bas
prix de récolte PER REGION for the current
year

eVP2C

*Rice production per subregion for the
current year

eRYC

*Cost of production per subregion

eCPC

***FERTILISATIONS**

*variable manure per region

emanure

*Uree

euree

*NPK

eNPK

*Herb

eHerb

*Insec Insecticide_price (Ar)

eInsec

*labour PER MONTH and PER subREGION

*Vohitsara

eCJan

eCFeb

eCMar

eCApr

eCMay

eCJun

eCJul

eCAug

eCSep	*Constraint on minimum rice production in each Subregion
eCOct	
eCNov	cRYC
eCDec	*\$offtext;
* -----	*
* EQUATIONS CONSTRAINTS	* -----
* -----	* Definition de equations
*Labour available	* -----
*cTlabC	*land type available
*constraint labour per subregion for the current year	eLAND(loc,LT)..
cLabC	SUM((Cvar,Eq,Seed),vAREA(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed)) =E= LAND(LT,Loc);
*labour PER MONTH and PER subREGION	
*\$ontext	eLAND_Voh(LT)..
*Vohitsara	SUM((Cvar,Eq,Seed),vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)) =L= LAND(LT,'Voh');
cCJan	
cCFeb	;
cCMar	*INDICATORS PER REGION PER SEASON
cCApr	
cCMay	*labour used in each subregion
cCJun	*for the current year
cCJul	eLabC..
cCAug	vLabC =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
cCSep	vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
cCOct	INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Tlab'));
cCNov	*Marge brute mean price for the current year
cCDec	eMBC..
*\$offtext	vMBC =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
	vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
	INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'MB'));

*Marge brute better price for the current year

eMB1C..

vMB1C =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'MB1'))
;

***Marge brute Lower price for the current year**

eMB2C..

vMB2C =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'MB2'))
;

*Valeur de production Mean price for the current year

eVPC..

vVPC =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'VP'));

*Valeur de production Better price for the current year

eVP1C..

vVP1C =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'VP1'));

*Valeur de production Lower price for the current year

eVP2C..

vVP2C =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'VP2'));

*Rice production per season in each subregion

*for the current year

eRYC..

vRYC =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'RY'));

*Cost of production

eCPC..

vCPC =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'CP'));

*FERTILISATIONS

***variable manure per region**

emanure..

vmanure =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'manure'));

*Uree

euree..

vuree =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'uree'))
;

*NPK

eNPK..

vNPK =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'NPK'));

*Herb

eHerb..

vHerb =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Herb'))
;

*Insec Insecticide_price (Ar)

eInsec..

vInsec =E= SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Insec')
);

****labour used per month in each subregion***

*Vohitsara

eCJan..

vCJan =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Jan'));

eCFeb..

vCFeb =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Feb'));

eCMar..

vCMar =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Mar'));

eCApr..

vCApr =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Apr'));

eCMay..

vCMay =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'May'))
;

eCJun..

vCJun =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Jun'));

eCJul..

vCJul =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Jul'));

eCAug..

vCAug =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Aug'));

eCSep..

vCSep =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Sep'));

eCOct..

vCOct =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Oct'));

eCNov..

vCNov =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Nov'));

eCDec..

vCDec =E= SUM((Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Dec'));

***CONSTRAINTS**

****constraint labour used in each subregion***

*for the current year

cLabC..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Tlab'))
=I= TargetLabour;

*LABOUR('Tlab','Voh');

*648000;

*\$ontext

****constraint labour per month in each subregion***

*Vohitsara (le maximum est de 54000)

cCJan..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Jan'))=
I= LABOUR('Jan','Voh');

cCFeb..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Feb'))=
I= LABOUR('Feb','Voh');

cCMar..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Mar'))=
I= LABOUR('Mar','Voh');

cCApr..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Apr'))=
I= LABOUR('Apr','Voh');

cCMay..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'May'))=
I= LABOUR('May','Voh');

cCJun..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Jun'))=
I= LABOUR('Jun','Voh');

cCJul..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Jul'))=
I= LABOUR('Jul','Voh');

cCAug..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Aug'))=
I= LABOUR('Aug','Voh');

cCSep..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Sep'))=
I= LABOUR('Sep','Voh');

cCOct..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Oct'))=
I= LABOUR('Oct','Voh');

cCNov..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Nov'))=
I= LABOUR('Nov','Voh');

cCDec..

SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'Dec'))=
I= LABOUR('Dec','Voh');

*\$offtext

```
*$ontext
*Rice constraint in each subregion
*Vohitsara (minimum is 843 Tonnes)
cRYC..
SUM((Cvar,LT,Eq,Seed) ,
vAREA('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed)*
INDICATORS('Voh',Cvar,LT,Eq,Seed,'RY'))=g
= 0.900;
*LABOUR('RY','Voh');
*targetRYC;
*$offtext
```

* Solutions

```
* -----
```

```
*$ontext
```

MODEL E1 /ALL/

```
FILE BYVohT1M20MaxLab
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxLab.dat/
```

```
FILE LANDBYVohT1M20MaxLab
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxMLab.dat/
```

```
*What to put
```

```
PUT BYVohT1M20MaxLab;
```

```
*niveau REGION
```

```
*PUT
```

```
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC","vMBC",
"vMB1C","vVPC","vVP1C","vRYC","CJan","CFe
b","CMar","CApr","CMay","CJun","CJul","CAug,"
'CSep","COct","CNov","CDec'/;
```

```
*PUT
```

```
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC",
"vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCJan","vCFeb","vCMar","vCApr","vCM
```

```
ay","vCJun","vCJul","vCAug","vCSep","vCOct","v
CNov","vCDec'/;
```

```
PUT
```

```
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC",
"vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCOct","vCNov","vCDec","vCJan","vCFe
b","vCMar","vCApr","vCMay","vCJun'/;
```

```
*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,
```

```
FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,
```

```
*Max706128
```

```
SOLVE E1 using LP MaxIMIZING vLabC
```

```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vMBC
```

```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vMB1C
```

```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVPC
```

```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVP1C
```

```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vRYC
```

```
;
```

```
PUT BYVohT1M20MaxLab;
```

```
*PUT
```

```
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC.I','vM
BC.I','vMB1C.I','vVPC.I','vVP1C.I','vRYC.I','v
CJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I
','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct
.I','vCNov.I','vCDec.I','/;
```

```
*PUT
```

```
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar
.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCA
ug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/
;
```

```

PUT
TargetLabour','vLabC.l','vMBC.l','vVPC.l','v
CPC.l','vRYC.l','vmanure.l','vuree.l','vNPK.l',
'vHerb.l','vInsec.l','vCOct.l','vCNov.l','vCDe
c.l','vCJan.l','vCFeb.l','vCMar.l','vCApr.l','vC
May.l','vCJun.l','/';

```

```
;
```

```
PUT LANDBYVohT1M20MaxLab;
```

```

*loop(ST,
loop(Loc,
loop(Cvar,
loop(LT,
loop(Eq,
loop(Seed,
if(vArea.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,
*PUT 'targetRICE',',',
'targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,',',
PUT targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,',',
PUT vAREA.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',',/);

```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```

*PUT '*****next
round*****'/

```

```
*);
```

```
*);
```

```
;
```

```
*$offtext
```

```
*$ontext
```

MODEL E2 /ALL/

```

FILE BYVohT1M20MinCP
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MinCP.dat/

```

```

FILE LANDBYVohT1M20MinCP
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MinCP.dat/

```

```
*What to put
```

```
PUT BYVohT1M20MinCP;
```

```
*niveau REGION
```

```
*PUT
```

```

'TargetRICE',"TargetLabour,"vLabC,"vMBC
,"vMB1C,"vVPC,"vVP1C,"vRYC,"CJan,"CFe
b,"CMar,"CApr,"CMay,"CJun,"CJul,"CAug,'
'CSep,"COct,"CNov,"CDec'/;

```

```
*PUT
```

```

'TargetLabour,"vLabC,"vMBC,"vVPC,"vCPC
,"vRYC,"vmanure,"vuree,"vNPK,"vHerb,"vI
nsec,"vCJan,"vCFeb,"vCMar,"vCApr,"vCM
ay,"vCJun,"vCJul,"vCAug,"vCSep,"vCOct,"v
CNov,"vCDec'/;

```

```
PUT
```

```

'TargetLabour,"vLabC,"vMBC,"vVPC,"vCPC
,"vRYC,"vmanure,"vuree,"vNPK,"vHerb,"vI
nsec,"vCOct,"vCNov,"vCDec,"vCJan,"vCFe
b,"vCMar,"vCApr,"vCMay,"vCJun'/;

```

```
*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,
```

```
FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,
```

***SOLVE E1 using LP Maximizing vLabC**

```

solve E2 using LP Minimizing vCPC

*solve E2 using LP Maximizing vMBC

*solve E2 using LP Maximizing vMB1C

*solve E2 using LP Maximizing vVPC

*solve E2 using LP Maximizing vVP1C

*solve E2 using LP Maximizing vRYC

;

PUT BYVohT1M20MinCP;

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour",'vLabC.I','vM
BC.I','vMB1C.I','vVPC.I','vVP1C.I','vRYC.I','v
CJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I
','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct
.I','vCNov.I','vCDec.I','/';

*PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar
.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCA
ug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/
;

PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDe
c.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vC
May.I','vCJun.I','/';

;

PUT LANDBYVohT1M20MinCP;

*loop(ST,

loop(Loc,

loop(Cvar,

loop(LT,

```

```

loop(Eq,

loop(Seed,

if(vArea.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,

PUT TargetLabour','',Loc.TL,'',Cvar.TL,'',
LT.TL,'', Eq.TL,'', Seed.TL,'')

*PUT 'targetRICE','',
'targetLabour','',Loc.TL,'',Cvar.TL,'',
LT.TL,'', Eq.TL,'', Seed.TL,'')

PUT vAREA.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),'');

);

);

);

);

);

);

*PUT '*****next
round*****'/

*);

*);

;

*$offtext

*$ontext

MODEL E3 /ALL/

FILE BYVohT1M20MaxVP
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxVP.dat/

FILE LANDBYVohT1M20MaxVP
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxVP.dat/

*What to put

```

```
PUT BYVohT1M20MaxVP;
```

```
*niveau REGION
```

```
*PUT
```

```
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC","vMBC",
"vMB1C","vVPC","vVP1C","vRYC","CJan","CFeb",
"CMar","CApr","CMay","CJun","CJul","CAug","CSep",
"COct","CNov","CDec"/;
```

```
*PUT
```

```
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC",
"vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vInsec",
"vCJan","vCFeb","vCMar","vCApr","vCMay","vCJun",
"vCJul","vCAug","vCSep","vCOct","vCNov","vCDec"/;
```

```
PUT
```

```
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC",
"vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vInsec",
"vCOct","vCNov","vCDec","vCJan","vCFeb",
"vCMar","vCApr","vCMay","vCJun"/;
```

```
*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,
```

```
FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,
```

```
*SOLVE E1 using LP MaximIZING vLabC
```

```
*solve E1 using LP MaximIZING vMBC
```

```
*solve E3 using LP MaximIZING vMBC
```

```
solve E3 using LP MaximIZING vVPC
```

```
*solve E1 using LP MaximIZING vVP1C
```

```
*solve E1 using LP MaximIZING vRYC
```

```
;
```

```
PUT BYVohT1M20MaxVP;
```

```
*PUT
```

```
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC.I','vMBC.I',
'vMB1C.I','vVPC.I','vVP1C.I','vRYC.I','vCJan.I',
'vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I'
```

```
','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct.I',
'vCNov.I','vCDec.I',/;
```

```
*PUT
```

```
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','vCPC.I',
'vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I',
'vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I',
'vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I',/;
```

```
PUT
```

```
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','vCPC.I',
'vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I',
'vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I',
'vCJun.I',/;
```

```
;
```

```
PUT LANDBYVohT1M20MaxVP;
```

```
*loop(ST,
```

```
loop(Loc,
```

```
loop(Cvar,
```

```
loop(LT,
```

```
loop(Eq,
```

```
loop(Seed,
```

```
if(vArea.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,
```

```
PUT targetLabour,',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,','
```

```
*PUT 'targetRICE',',',
```

```
'targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,','
```

```
PUT vAREA.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',/');
```

```
);
```

```
);
```

```

);
);
);
);

*PUT '*****next
round*****'/

*);

*);

;

*$offtext

*$ontext

MODEL E4 /ALL/

FILE BYVohT1M20MaxMB
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxMB.dat/

FILE LANDBYVohT1M20MaxMB
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxMB.dat/

*What to put

PUT BYVohT1M20MaxMB;

*niveau REGION

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour",'vLabC','vMBC','vVPC','vCPC
','vRYC','vmanure','vuree','vNPK','vHerb','vI
nsec','vCOct','vCNov','vCDec','vCJan','vCFe
b','vCMar','vCApr','vCMay','vCJun'/;

*PUT
'TargetLabour','vLabC','vMBC','vVPC','vCPC
','vRYC','vmanure','vuree','vNPK','vHerb','vI
nsec','vCJan','vCFeb','vCMar','vCApr','vCM
ay','vCJun','vCJul','vCAug','vCSEP','vCOct','v
CNov','vCDec'/;

PUT
'TargetLabour','vLabC','vMBC','vVPC','vCPC
','vRYC','vmanure','vuree','vNPK','vHerb','vI
nsec','vCOct','vCNov','vCDe

```

```
c.l','vCJan.l','vCFeb.l','vCMar.l','vCApr.l','vC
May.l','vCJun.l','/;
```

```
;
```

```
PUT LANDBYVohT1M20MaxMB;
```

```
*loop(ST,
```

```
loop(Loc,
```

```
loop(Cvar,
```

```
loop(LT,
```

```
loop(Eq,
```

```
loop(Seed,
```

```
if(vArea.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,
```

```
PUT targetLabour,',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,','
```

```
*PUT 'targetRICE',',',
'targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,','
```

```
PUT vAREA.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',',/);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
*PUT '*****next
round*****'/
```

```
*);
```

```
*);
```

```
;
```

```
*$offtext
```

\$ontext

MODEL E5 /ALL/

```
FILE BYVohT1M20MaxVP1
```

```
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxVP1.dat/
```

```
FILE LANDBYVohT1M20MaxVP1
```

```
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxVP1.dat/
```

*What to put

```
PUT BYVohT1M20MaxVP1;
```

*niveau REGION

*PUT

```
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC","vMBC
","vMB1C","vVPC","vVP1C","vRYC","CJan","CFe
b","CMar","CApr","CMay","CJun","CJul","CAug,"
'CSep","COct","CNov","CDec'/;
```

*PUT

```
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC
","vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCJan","vCFeb","vCMar","vCApr","vCM
ay","vCJun","vCJul","vCAug","vCSep","vCOct","v
CNov","vCDec'/;
```

PUT

```
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC
","vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCOct","vCNov","vCDec","vCJan","vCFe
b","vCMar","vCApr","vCMay","vCJun'/;
```

*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,

FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,

*SOLVE E4 using LP MaxIMIZING vLabC

*solve E1 using LP MaxIMIZING vMBC

*solve E1 using LP MaxIMIZING vMB1C

solve E5 using LP MaxIMIZING vVP1C


```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVP1C
```

```
*solve E1 using LP MaxIMIZING vRYC
```

```
;
```

```
PUT BYVohT1M20MaxVP1;
```

```
*PUT
```

```
'TargetRICE',"TargetLabour",'vLabC.I','vMBC.I','vMB1C.I','vVPC.I','vVP1C.I','vRYC.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/;
```

```
*PUT
```

```
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','vCPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I','vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/;
```

```
PUT
```

```
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','vCPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I','vHerb.I','vInsec.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','/;
```

```
;
```

```
PUT LANDBYVohT1M20MaxVP1;
```

```
*loop(ST,
```

```
loop(Loc,
```

```
loop(Cvar,
```

```
loop(LT,
```

```
loop(Eq,
```

```
loop(Seed,
```

```
if(vArea.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,
```

```
*PUT 'targetRICE',,,,
'targetLabour',,,,Loc.TL,,,Cvar.TL,,,
LT.TL,,, Eq.TL,,, Seed.TL,,'
```

```
PUT targetLabour',,,,Loc.TL,,,Cvar.TL,,,
LT.TL,,, Eq.TL,,, Seed.TL,,'
```

```
PUT vAREA.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',,');
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
);
```

```
*PUT '*****next
round*****'/
```

```
*);
```

```
*);
```

```
;
```

```
;
```

```
*$offtext
```

```
*$ontext
```

```
MODEL E6 /ALL/
```

```
FILE BYVohT1M20MaxVP2
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxVP2.dat/
```

```
FILE LANDBYVohT1M20MaxVP2
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxVP2.dat/
```

*What to put

PUT BYVohT1M20MaxVP2;

*niveau REGION

*PUT

'TargetRICE',"TargetLabour',"vLabC',"vMBC
',"vMB1C',"vVPC',"vVP1C',"vRYC',"CJan',"CFe
b',"CMar',"CApr',"CMay',"CJun',"CJul',"CAug','
'CSep',"COct',"CNov',"CDec'/;

*PUT

'TargetLabour',"vLabC',"vMBC',"vVPC',"vCPC
',"vRYC',"vmanure',"vuree',"vNPK',"vHerb',"vI
nsec',"vCJan',"vCFeb',"vCMar',"vCApr',"vCM
ay',"vCJun',"vCJul',"vCAug',"vCSep',"vCOct',"v
CNov',"vCDec'/;

PUT

'TargetLabour',"vLabC',"vMBC',"vVPC',"vCPC
',"vRYC',"vmanure',"vuree',"vNPK',"vHerb',"vI
nsec',"vCOct',"vCNov',"vCDec',"vCJan',"vCFe
b',"vCMar',"vCApr',"vCMay',"vCJun'/;

*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,

FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,

*SOLVE E1 using LP MaxIMIZING vLabC

solve E6 using LP MaxIMIZING vVP2C

*solve E1 using LP MaxIMIZING vMB1C

*solve E1 using LP MaxIMIZING vVPC

*solve E1 using LP MaxIMIZING vVP1C

*solve E1 using LP MaxIMIZING vRYC

;

PUT BYVohT1M20MaxVP2;

*PUT

'TargetRICE',"TargetLabour',"vLabC.I',"vM
BC.I',"vMB1C.I',"vVPC.I',"vVP1C.I',"vRYC.I',"v
CJan.I',"vCFeb.I',"vCMar.I',"vCApr.I',"vCMay.I
'',"vCJun.I',"vCJul.I',"vCAug.I',"vCSep.I',"vCOct
.I',"vCNov.I',"vCDec.I',/';

*PUT

TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar
.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCA
ug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I',/';

PUT

TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDe
c.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vC
May.I','vCJun.I',/';

;

PUT LANDBYVohT1M20MaxVP2;

*loop(ST,

loop(Loc,

loop(Cvar,

loop(LT,

loop(Eq,

loop(Seed,

if(vArea.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,

PUT TargetLabour,',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,','

*PUT 'targetRICE',',',
'targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,','

PUT vAREA.I(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',/');

);

);

);

);

```

);
);
*PUT '*****next
round*****'/
*);
*);
;
*$offtext
*$ontext

MODEL E7 /ALL/

FILE BYVohT1M20MaxMB1
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxMB1.dat/

FILE LANDBYVohT1M20MaxMB1
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxMB1.dat/

*What to put

PUT BYVohT1M20MaxMB1;

*niveau REGION

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour',"vLabC',"vMBC
',"vMB1C',"vVPC',"vVP1C',"vRYC',"CJan',"CFe
b',"CMar',"CApr',"CMay',"CJun',"CJul',"CAug',"
'CSep',"COct',"CNov',"CDec'/;

*PUT
'TargetLabour',"vLabC',"vMBC',"vVPC',"vCPC
',"vRYC',"vmanure',"vuree',"vNPK',"vHerb',"vI
nsec',"vCJan',"vCFeb',"vCMar',"vCApr',"vCM
ay',"vCJun',"vCJul',"vCAug',"vCSep',"vCOct',"v
CNov',"vCDec'/;

PUT
'TargetLabour',"vLabC',"vMBC',"vVPC',"vCPC
',"vRYC',"vmanure',"vuree',"vNPK',"vHerb',"vI
nsec',"vCOct',"vCNov',"vCDec',"vCJan',"vCFe
b',"vCMar',"vCApr',"vCMay',"vCJun'/;

```

```

*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,
FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,

*SOLVE E1 using LP MaxIMIZING vLabC
*solve E1 using LP MaxIMIZING vMBC
solve E7 using LP MaxIMIZING vMB1C
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVPC
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVP1C
*solve E1 using LP MaxIMIZING vRYC

;

PUT BYVohT1M20MaxMB1;

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour',"vLabC.I',"vM
BC.I',"vMB1C.I',"vVPC.I',"vVP1C.I',"vRYC.I',"v
CJan.I',"vCFeb.I',"vCMar.I',"vCApr.I',"vCMay.I
',"vCJun.I',"vCJul.I',"vCAug.I',"vCSep.I',"vCOct
.I',"vCNov.I',"vCDec.I','/;

*PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar
.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCA
ug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/
;

PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDe
c.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vC
May.I','vCJun.I','/;

;

PUT LANDBYVohT1M20MaxMB1;

*loop(ST,
loop(Loc,
loop(Cvar,

```

```

loop(LT,
loop(Eq,
loop(Seed,
if(vArea.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,
PUT targetLabour,',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,',')
*PUT 'targetRICE',',',
'targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,',')
PUT vAREA.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',');
);
);
);
);
);
);
;
*$offtext
*$ontext
MODEL E8 /ALL/

FILE BYVohT1M20MaxMB2
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxMB2.dat/

FILE LANDBYVohT1M20MaxMB2
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxMB2.dat/

*What to put

PUT BYVohT1M20MaxMB2;

*niveau REGION

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC","vMBC

```

```

,"vMB1C","vVPC","vVP1C","vRYC","CJan","CFe
b","CMar","CApr","CMay","CJun","CJul","CAug,"
'CSep","COct","CNov","CDec"/;

*PUT
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC
","vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCJan","vCFeb","vCMar","vCApr","vCM
ay","vCJun","vCJul","vCAug","vCSep","vCOct","v
CNov","vCDec"/;

PUT
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC
","vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCOct","vCNov","vCDec","vCJan","vCFe
b","vCMar","vCApr","vCMay","vCJun"/;

*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,
FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,

*SOLVE E1 using LP MaxIMIZING vLabC

*solve E1 using LP MaxIMIZING vMBC

solve E8 using LP MaxIMIZING vMB2C

*solve E1 using LP MaxIMIZING vVPC

*solve E1 using LP MaxIMIZING vVP1C

*solve E1 using LP MaxIMIZING vRYC

;

PUT BYVohT1M20MaxMB2;

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC.I','vM
BC.I','vMB1C.I','vVPC.I','vVP1C.I','vRYC.I','v
CJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I
','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct
.I','vCNov.I','vCDec.I','/;

*PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','v
CPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I',
'vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar

```

```
.l','vCApr.l','vCMay.l','vCJun.l','vCJul.l','vCA
ug.l','vCSep.l','vCOct.l','vCNov.l','vCDec.l','/
;

PUT
TargetLabour','vLabC.l','vMBC.l','vVPC.l','v
CPC.l','vRYC.l','vmanure.l','vuree.l','vNPK.l',
'vHerb.l','vInsec.l','vCOct.l','vCNov.l','vCDe
c.l','vCJan.l','vCFeb.l','vCMar.l','vCApr.l','vC
May.l','vCJun.l','/';

;

PUT LANDBYVohT1M20MaxMB2;

*loop(ST,
loop(Loc,
loop(Cvar,
loop(LT,
loop(Eq,
loop(Seed,
if(vArea.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,
PUT targetLabour,',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,',',
*PUT 'targetRICE',',',
'targetLabour',',',Loc.TL,',',Cvar.TL,',',
LT.TL,',', Eq.TL,',', Seed.TL,',',
PUT vAREA.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),',,');
);
);
);
);
);
);
);
*PUT '*****next
round*****'/
*);
```

```
*)
;
$offtext
*$ontext
MODEL E9 /ALL/

FILE BYVohT1M20MaxRY
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\B
YVohT1M20MaxRY.dat/

FILE LANDBYVohT1M20MaxRY
/C:\Gamdon\Badyear\Vohitsara\T1M20\L
ANDBYVohT1M20MaxRY.dat/

*What to put
PUT BYVohT1M20MaxRY;

*niveau REGION

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour","vLabC","vMBC
","vMB1C","vVPC","vVP1C","vRYC","CJan","CFe
b","CMar","CApr","CMay","CJun","CJul","CAug,"
'CSep","COct","CNov","CDec"/;

*PUT
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC
","vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCJan","vCFeb","vCMar","vCApr","vCM
ay","vCJun","vCJul","vCAug","vCSep","vCOct","v
CNov","vCDec"/;

PUT
'TargetLabour","vLabC","vMBC","vVPC","vCPC
","vRYC","vmanure","vuree","vNPK","vHerb","vI
nsec","vCOct","vCNov","vCDec","vCJan","vCFe
b","vCMar","vCApr","vCMay","vCJun"/;

*FOR (TargetRICE = 0 to 1500 by 300 ,
FOR (TargetLabour = 0 to 1000 by 50 ,

*SOLVE E1 using LP MaxIMIZING vLabC
```

```
*solve E1 using LP MinIMIZING vCPC
*solve E2 using LP MaxIMIZING vMBC
*solve E1 using LP MaxIMIZING vMB1C
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVPC
*solve E1 using LP MaxIMIZING vVP1C
solve E9 using LP MaxIMIZING vRYC

;

PUT BYVohT1M20MaxRY;

*PUT
'TargetRICE',"TargetLabour",'vLabC.I','vMBC.I','vMB1C.I','vVPC.I','vVP1C.I','vRYC.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/';

*PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','vCPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I','vHerb.I','vInsec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','vCJul.I','vCAug.I','vCSep.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','/';

PUT
TargetLabour','vLabC.I','vMBC.I','vVPC.I','vCPC.I','vRYC.I','vmanure.I','vuree.I','vNPK.I','vHerb.I','vInsec.I','vCOct.I','vCNov.I','vCDec.I','vCJan.I','vCFeb.I','vCMar.I','vCApr.I','vCMay.I','vCJun.I','/';

;
```

```

PUT LANDBYVohT1M20MaxRY;

*loop(ST,

loop(Loc,

loop(Cvar,

loop(LT,

loop(Eq,

loop(Seed,

if(vArea.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed) >0,

PUT TargetLabour','','Loc.TL','','Cvar.TL','','
LT.TL','',' Eq.TL','',' Seed.TL','','

*PUT 'targetRICE','','
'targetLabour','','Loc.TL','','Cvar.TL','','
LT.TL','',' Eq.TL','',' Seed.TL','','

PUT vAREA.l(Loc,Cvar,LT,Eq,Seed),,'/);

);

);

);

);

);

);

);

*PUT '*****next
round*****'/

*);

*);

;

```

Annexe 5 : Somme de surface ayant eu une activité par mois et par localité

Région	semis	labour	roue- cage	semis	repiq	Herbi- cide	Insect	Desh1	Desh2	coupe
Ambato- soratra	Jan	1465	2378	2248	5418	2694	295	3455	595	200
	Fev	132	615	342	1555	3980	715	5783	254	120
	Mar	50	0	95	10	590	100	1809	325	1268
	Avr	70	0	70	70	20	50	35	10	2513
	Mai	240	40	510	0	20	0	20	0	12673
	Juin	1473	400	940	510	0	0	0	0	1737
	Juil	1780	0	1000	1930	0	0	0	0	245
	Aout	1677	0	20	0	0	0	1000	0	318
	Sept	164	0	285	0	0	20	10	0	0
	Oct	1195	70	392	0	0	0	0	0	5
	Nov	2509	660	6096	220	0	21	50	0	160
	Dec	8712	3617	10051	4629	200	334	591	75	1875
Amparihin- tsokatra	Jan	320	75	220	130	1994	615	2885	20	20
	Fev	65	0	95	40	50	60	500	985	145
	Mar	0	0	0	0	0	0	95	180	840
	Avr	0	0	0	0	0	0	0	0	2829
	Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	2235
	Juin	250	0	50	0	0	0	0	0	150
	Juil	250	40	40	0	0	50	0	0	25
	Aout	380	0	0	40	0	0	40	0	0
	Sept	250	0	0	0	0	0	0	0	50
	Oct	500	560	190	0	0	10	0	0	0
	Nov	2439	1484	2744	130	0	170	20	0	40
	Dec	2080	710	3255	1404	225	295	685	10	0
Tanambe	Jan	350	250	350	1470	3880	450	1620	0	0
	Fev	0	0	0	100	920	0	3550	100	0
	Mar	40	0	40	0	0	1550	0	0	50
	Avr	100	0	100	0	0	0	0	0	100
	Mai	0	0	0	100	0	0	0	0	6110
	Juin	0	0	0	0	0	0	0	0	780
	Juil	0	0	0	0	0	0	40	0	100
	Aout	70	0	70	0	0	0	0	0	0
	Sept	90	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oct	1190	150	590	0	0	0	0	0	0
	Nov	3650	2370	3770	930	0	0	0	0	0
	Dec	1710	3650	2270	4270	350	0	400	0	0
Vohitsara	Jan	1140	1220	930	2151	2076	1685	375	0	0
	Fev	0	0	0	950	1970	1400	1941	0	0
	Mar	0	0	0	0	100	831	300	0	0

Avr	0	0	0	0	0	40	40	0	0
Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	6686
Juin	200	0	0	0	0	0	0	0	2450
Juil	100	300	300	0	0	0	0	0	0
Aout	550	0	200	300	0	0	0	0	0
Sept	300	0	500	0	0	200	0	0	0
Oct	2330	0	500	0	0	0	0	0	0
Nov	3325	2755	5105	550	0	0	0	0	0
Dec	1761	2331	2371	2085	600	200	0	0	420

Annexe 6 : Les caractéristiques typologiques des exploitations : taille et distribution des parcelles, type d'outillage utilisé et nombre de bovin en possession

Région	Nom ^a	Bb (are)	RB (are)	RBF (are)	RBL (are)	RH (are)	Tan (are)	Outils	Nombre de bovin	nombre de male	nombre de femelle
Amb	Georgette	80	80			50		1	14	10	4
Amb	Laurent	8	22	54			60	1	11	8	3
Amb	Rabenandrasana William		20			20	10	1	6	4	2
Amb	Rabenimanana Jean Felix	50				50	80	1	4	4	0
Amb	Rabenjanahary Théo	25	100			100	50	1	18	8	10
Amb	Rabetany			120		100	580	1	8	2	6
Amb	Raharimampiafa Ialaso	20	200					1	18	6	12
Amb	Rakotomalala Jean		100	90			700	1	8	8	8
Amb	Rakotonindrina Robert	75				75	100	1	4	4	0
Amb	Rakotonirina Dadah	75				100	100	1	3	3	0
Amb	Ramarohanta	240			1000		100	1	17	14	3
Amb	Randriamaharavo	210	100	90			130	1	20	8	12
Amb	Randriamanarivo Jean Freddy	20	50					1	8	4	2
Amb	Randrianarizaka Maurille	40			50	40	30	2	5	5	0
Amb	Randrianierana	60	270			40	125	1	20	20	8
Amb	Randriantody Edmond		50	30		50	57	1	7	4	3
Amb	Rasoahajaina Elisabeth	85		83		50	50	1	15	6	9
Amb	Ratotozara				150	100	50	1	14	8	6
Amb	Ratsimajeune Damisa	110	250	40				1	7	1	6
Amb	Razafimpiasa Martin	160	80					1	4	4	0
Amb	Razafindrakoto Gilbert		100			10		1	6	4	2
Amb	René	50	350				100	1	4	4	0
Amb	Elia(Rahely)			90			100	1	0	0	0

Amb	Julienne		70		100		260	1	10	4	6
Amb	Raharinirina				150		350	1	0	0	0
Amb	Rakotomalala Ernest	30				380	30	1	4	4	0
Amb	Rakotondravelo	20		335		40	165	1	10	5	5
Amb	Rasoloso	30		80			180	1	18	8	10
Amb	Robson		110	10			170	1	7	4	3
Amb	Basé	10	115		55	97		1	5	5	0
Amb	Beninjara		265		140	285		3	4	4	0
Amb	Delphin	25	210		200	140	150	3	6	6	0
Amb	Ndriana	30	230			380		3	20	16	4
Amb	Rabearizaka	160	580		800	280		3	12	8	4
Amb	Rabezara Jean-Pierre	90	70		100	120	15	1	21	12	9
Amb	Rakotondrafaramandraibe	25	190			185	40	3	25	12	13
Amb	Ranaivoson Emmanuel		150	35,2		150,6	52	1	10	4	6
Amb	Randrianandrana	97	50			400	100	1	26	13	13
Amb	Randrianarivelo	5	40			155		1	4	4	0
Amb	Ranjakatody	50	250			200		1	11	6	5
Amb	Rasolo Andriamahatana	95	350		240	320		3	14	8	6
Amb	Tongazaraina Norbert (chef FKT)	35	220			240	20	3	12	4	8
Amb	Zérason		224		40			1	10	10	0
Amb	Andriamahatana		430	95		357	200	3	11	8	3
Amb	Andriambao Randriamahatody	30	310				15	2	0	0	0
Amb	Bazily	35	480			100	200	3	5	5	0
Amb	Da Kely	9		1		100		1	5	5	0
Amb	Rakotoarimanana Gerard Pascal	90	50					1	5	4	1
Amb	Rakotoarimbola Jean De La Croix	20	150				90	1	2	2	0
Amb	Rakotondrajery Noël	20				90	65	1	18	15	3
Amb	Randriamahafefy Julien	20					10	1	0	0	0
Amb	Randrianjafimahefa	100	100	105		240	100	1	20	12	8

Amb	Rasoarisoa Berthe	25				50	1	0	0	0
Amb	Ratovoson Desiré		40	190		150	1	3	3	0
Amb	Razakazafy Armand	80	90		70		1	26	10	16
Amb	Razanakoto Albert	30	180	60	60	125	1	50	10	40
Amb	Sily		190		50	50	2	0	0	0
Amp	Andry			70	430	1050	3	0	0	0
Amp	Edvige			150		40	1	7	4	3
Amp	Rajeranto			315		605	1	9	7	2
Amp	Rakotoarison			90		300	1	4	4	0
Amp	Ramiajasoa	25		350		175	1	4	4	0
Amp	Randrianarisoa	50		74	50	175	1	4	4	0
Amp	Ranjakason			400		500	1	8	4	4
Amp	Ranomenjanahary Regina			20		110	1	4	4	4
Amp	Rasoarinosy lalao			300	50	500	3	16	5	11
Amp	Rasoarisaina Rolland			10		175	1	4	4	0
Amp	Rasonina			200		370	1	8	8	0
Amp	Rasonirina Jochin		100		100	930	1	13	8	5
Amp	Ratodiarison			150	75	225	1	23	17	5
Amp	Ravonimanana Elisabeth			140		40	1	6	2	4
Amp	Razafiarimanana Hélène		150	190		450	3	13	4	9
Tan	Clément		210			50	3	10	5	5
Tan	Gilbert	70	250			200	1	8	8	0
Tan	Rakoto		400		100	20	3	10	4	6
Tan	Rakotoardine Gaston		1050				2	0	0	0
Tan	Rakotoarimanga		302				1	4	4	0
Tan	Rakotoarisoa	100	250			500	3	0	0	0
Tan	Rakotomalala Jean Tanambe		120				1	0	0	0
Tan	Rakotonanahary Raymond		350			30	1	4	4	0
Tan	Ralaifito	80	550			50	3	25	12	13

Tan	Ramananjaka Madio		720				40	1	10	4	6
Tan	Ramaroson Samoelina	10	800				10	3	0	0	0
Tan	Randriamanoro Armand		210		100			2	0	0	0
Tan	Randriambola atsimondrano		230			100	1100	2	3	2	1
Tan	Randriambola DS		710					2	15	11	4
Tan	Rasalama Celine Lucie		120					1	4	2	2
Tan	Rasoazaka		300					2	0	0	0
Voh	Rabeharivola Prosper		410		400			2	0	0	0
Voh	Rakotoarizaka Felix		103		400		10	2	0	0	0
Voh	Rakotondravoahangy Albert		550		500			1	7	4	3
Voh	Randimbisoa Jaliera		800		100			2	0	0	0
Voh	Randriamaivasoa Bernardin		130		150	200		1	0	0	0
Voh	Randriamasoandro Claudera		175		650			1	13		
Voh	Randriamiantso		800		300			3	6	6	0
Voh	Randrianarimanana Ramarotany Dinah		270,5		120		6	3	0	0	0
Voh	Randrianimanana Herbert leonard		150			350	150	2	0	0	0
Voh	Rasoloarivony Kennedy		350		1400			1	13	4	9
Voh	Ratomboasina Tiarison		300					2	0	0	0
Voh	Raveloson Bruno		350		150	50		3	4	4	0
Voh	Rivolala		300					2	0	0	0
Voh	Robinson Sendra Bertrant		350					2	0	0	0
Voh	Rolland		400		100			3	9	4	5

Terroirs : Rizièr Basse (RB) ; Rizièr Haute (RH) ; Rizièr au Bord du Lac (RBL) ; Rizièr de Bas fond (RBF) Baiboho (Bb) ; Tanety (Tan) ;

Outils : Attelée (1) ; Mécanisée (2) ; Mixte (3).

Annexe 7 : Caractéristiques des ménages : taille de la famille, recettes et dépenses des activités agricoles et non agricoles

Région	Exploitation ^a (N°)	Type	Age du père de famille	Membre de la famille	Actif	Total enfant à charge	Enfant scolarisé	Dépense Scolaire (mille Ar)	MO permanent (Annuelle)	Cout . Pers ⁻¹ . an ⁻¹ (mille Ar)	MO temporaire (mensuelle)	non farm income mille Ar.an ⁻¹	off farm income mille Ar.an ⁻¹	on farm income mille Ar.an ⁻¹	Remarques
Amb	1	1	65	5	5										
Amb	2	2	63	4	4								400	240	Fishing**; vente de fumier***
Amb	3	1	48	7	5	1	1	20	1			80			maçonnerie*
Amb	4	1	45	7	6				1	100					
Amb	5	1	36	7	3	3	2	400	1	100					
Amb	6	1	52	8	5	2	2	150	1	120			30	80	maize + vary jebo**; garden***
Amb	7	3	61	4	2				2	240					beans+ sweet potatoes***
Amb	8	1	74	5	3	2	2	15							
Amb	9	1	58	5	2	3	3	133				130			demarcheur de riz*
Amb	10	1	47	5	2	3	3	142				150			demarcheur de riz*
Amb	11	3	62	7	2	4	4	110	1	120				460	cassava+ sugarcane+avocado***
Amb	12	1	53	5	2	3	2	50					40	100	ploughing+ repiquage**; sugarcane***
Amb	13	3	59	5	3	2	2	48				360		70	commerçant*; brède + potatoes***
Amb	14	1	56	3	2				1	100			120		ploughing**
Amb	15	2	62	6	6				2	150					
Amb	16	2	54	6	6								140		Fishing**
Amb	17	1	63	10	5	5	2	13,1	2	90				75	contre saison sweet potatoes***

Amb	18	2	48	9	4		3	210	2	160					
Amb	19	3	52	5	2	3	3	125							
Amb	20	1	64	6	5	1	1	45				600		370	enseignant*; garden+ location terre***
Amb	21	3	55	7	5	2	2	27					270	6	ploughing + location des terres (Bb)**; garden***
Amb	22	3	49	5	2	3	1	40,5							
Amb	23	2	37	3	2	1	1	40,5				360			epicerie*
Amb	24	1	56	1	1	0	0								
Amb	25	1	43	1	1										
Amb	26	1	72	2	1	0	0								
Amb	27	2	36	4	1	2	2	36			2				
Amb	28	1	51	6	4	4	2	36	2	160					
Amb	29	2	67	2	2				1						
Amb	30	2	41	6	2		4	128,4							
Amb	31	2	38	5	2		3	90			2	720			Epicerie*
Amb	32	2	55	3	1	1	0		2						
Amb	33	1	52	7	2		2	60	2		2				
Amb	34	3	50	7	3	3	2	60	2		3	3600			decortiqueur*
Amb	35	2	43	6	2	4									toute activité**
Amb	36	2	68	5	2		3	90	2						
Amb	37	2	48	4	1		0		2						
Amb	38	1	56	3	2		0		1						
Amb	39	1	65	7	1		3	90	1						
Amb	40	2	51	5	1		3	90	3		4				
Amb	41	2	54	6	4	2	0								
Amb	42	2	53	5	2	3	2	60	2						
Amb	43	3	47	4	2	2	1	32							

Amb	44	2	56	5	1	3	3	90	3		2				
Amb	45	3	68	5	2	3	3	90							
Amb	46	2	62	5	2	3	3	90	2			1410			epicerie + location de video+location de salle*
Amb	47	1	32	3	1	1	0					450		240	demarcheur + briqueterie*; culture de jardin***
Amb	48	1	62	6	4	2	2	42	2	138				400	culture de jardin***
Amb	49	2	57	6	4	2	2	88	1	50				50	culture de jardin***
Amb	50	1	59	5	2		2	12							
Amb	51	1	53	3	3									50	culture de jardin***
Amb	52	1	62	5	1	0	0		1		2			50	vente de fumier***
Amb	53	1	56	3	1	1	1								
Amb	54	2	41	4	2	1	0		1	1200		1000			forgeron*
Amb	55	1	81	6	2	4	2	42	2						
Amb	56	2	50												
Amb	57	2	34	1	1							3600			decortiquerie*
Amp	58	1	32	4	2	2									
Amp	59	3	51	5	3	2	2	57,5							
Amp	60	1	63	5	5				3	250					
Amp	61	1	58	4	2	2						100	150		couturière*; beans**
Amp	62	2	60	7	2	3	3	103,5	2	90					
Amp	63	1	53	8	5	3	3	54	1	50			360		démarcheur**
Amp	64	2	54	4	2				2	90				20	maize***
Amp	65	1	49	2	2							50	40		location de terre*; culture du tabac**
Amp	66	1	67	6	4	2	2	120				300			vente+ vidéo*
Amp	67	1	55	5	3	2	2	60							
Amp	68	1	56	8	5										
Amp	69	1	49	6	4	2	2	36							

Amp	70	1	56	5	3	2	1	36	1	50			40		maize**
Amp	71	3	67	4	2	1	1	35	1	0,4 Ar/va ta + 20			0,4 Ar/vata + 20		peanut + tabacco**
Amp	72	2	60	6	2	3	3	142,5	1	100					
Tan	73	3	46	5	2	3	3	1620							
Tan	74	2	54	5	2	3	3	40						1700	alcool artisanal***
Tan	75	3	55	8	4	3	3	12	1	150					
Tan	76	3	49	7	5	4	2	16	2	600					
Tan	77	3	59	5	2	2	2	49	1	200				50	culture de jardin***
Tan	78	1	57	8	1	7	7	35				60			vendeur*
Tan	79	3	55	12	5	5	5	300	2	200					
Tan	80	3	62	4	1	3	3	150							
Tan	81	3	56	6	2	2	2	12	2	100					
Tan	82	3	51	7	2	3	3	156	2	400				50	culture de jardin***
Tan	83	3	48	8	3	4	3	18	3	300					
Tan	84	3	51	6	2	4	4	100				600			transport*
Tan	85	1	57	10	4	4	4	140,4	2	360			300		démarcheur**
Tan	86	3	59	4	3	1	1	200	2	240				300	peanut***
Tan	87	3	52	6	3	3	3	200	1	120					
Tan	88	3	47	15	11	4	4	252				3288			Vente+ loyer +location pousse*
Voh	89	3	55	5	4	4	1	25							
Voh	90	3	57	4	4									360	culture de jardin***
Voh	91	3	62	5	3	2	2	10	1	250					
Voh	92	3	53	7	3	3	2	57	2	500		3000			atelier de reparation*
Voh	93	2	55	5	3	3	2	15					160		fishing**
Voh	94	3	57	8	5	3	3	51	2	400		350	240		vente*; démarcheur**
Voh	95	3	49	8	4	4	2	250							

Voh	96	3	60	6	3	2	2	10	1	200				785	beans contre saison***
Voh	97	1	53	5	3	3	2	12			4000/10T		900	4000/10 T	fishing**; GCV***
Voh	98	3	52	9	7	7	6	30					1960	360	fishing**; culture de jardin***
Voh	99	3	55	6	2	4	4	115						400	haricot contre saison sur RBL***
Voh	100	3	63	4	3	2	1	45							
Voh	101	3	54	5	3	3	2	610					2225		dépailleur+ pharmacie+ photocopie**
Voh	102	3	55	3	2				1	300	3T.ha ⁻¹		600	3T.ha ⁻¹	collecteur**; riz contre saison***
Voh	103	3	48	4	2	2	2	90							

Localité : Amb : Ambatosoratra ; Amp : Amparihintsokatra ; Tan : Tanambe ; Voh : Vohitsara ;

Remarques: * non farm; ** off farm; *** on farm

Annexe 8 : Données pluviométriques de l'Alaotra de 1977 à 2007

Années	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1977-78	184,6	113,0	132,1	34,7	1,2	8,6	9,8	13,6	3,6	37,2	49,8	81,6
1978-79	346,8	296,0	25,2	4,3	4,9	1,6	23,3	5,0	9,9	4,9	172,7	168,1
1979-80	215,4	190,6	263,5	43,5	14,3	8,2	23,0	12,5	3,4	2,6	53,3	344,0
1980-81	108,0	101,3	212,4	46,2	11,8	5,1	26,4	4,7	13,4	135,0	1,4	58,9
1981-82	488,1	425,9	273,1	48,5	3,7	7,5	1,8	7,7	0,4	83,7	170,2	188,9
1982-83	315,4	156,5	116,1	76,9	3,5	10,4	4,3	4,2	31,1	25,9	52,2	142,1
1983-84	343,1	281,6	141,6	239,6	8,8	7,2	6,3	6,7	1,8	123,0	222,6	308,8
1984-85	161,8	374,0	187,2	23,4	1,2	9,7	16,7	16,8	1,4	3,8	199,3	135,9
1985-86	185,8	317,8	342,2	14,8	8,0	2,8	3,6	19,2	4,8	12,4	58,3	338,1
1986-87	308,1	190,6	127,2	100,5	3,6	2,2	0,5	4,2	0,7	159,5	17,3	182,6
1987-88	332,0	146,0	129,0	24,0	26,0	2,0	3,0	11,0	1,0	7,0	22,0	75,0
1988-89	358,0	227,0	148,0	4,0	36,0	11,0	16,0	1,0	3,0	8,0	128,0	187,0
1989-90	132,0	178,0	80,0	81,0	4,0	4,0	5,0	12,0	29,0	25,0	96,0	274,0
1990-1991	53,3	308,9	187,5	133,0	3,4	15,3	4,3	0,5	0,0	22,3	67,5	174,7
1991-1992	301,0	239,2	134,1	6,5	4,3	9,6	12,4	0,0	0,0	30,6	15,2	162,0
1992-1993	320,0	201,5	226,7	16,0	11,2	10,1	9,9	6,9	19,0	0,0	51,1	8,6
1993-1994	432,8	266,1	190,4	4,5	21,4	7,9	23,1	7,3	4,4	66,3	33,2	131,5
1994-1995	459,8	217,9	78,0	47,9	40,6	9,9	4,3	3,0	0,8	169,0	3,5	110,0
1995-1996	486,2	128,8	226,8	17,5	3,7	2,8	4,5	2,7	0,8	4,2	3,2	515,2
1996-1997	480,6	254,0	18,6	41,5	4,2	2,2	9,5	6,3	17,4	0,2	21,9	408,9
1997-1998	294,2	452,3	16,9	3,1	11,8	5,1	2,9	7,6	36,4	23,6	85,2	148,9
1998-1999	226,0	35,4	101,5	7,6	39,4	9,3	4,8	5,8	1,5	0,0	0,6	210,9
1999-2000	110,0	185,2	188,3	13,3	2,8	10,7	16,1	7,3	3,7	1,1	6,7	98,6
2000-2001	706,3	106,0	24,3	28,9	2,9	6,9	1,5	10,6	1,3	1,1	19,0	196,7
2001-2002	93,6	481,7	58,7	14,1	119,6	6,3	6,1	1,6	1,3	15,9	0,1	208,6
2002-2003	485,9	311,2	135,6	3,1	8,6	4,3	4,4	1,7	8,6	1,3	46,0	391,5
2003-2004	220,4	129,7	128,2	16,3	5,2	8,2	3,0	2,8	4,9	31,4	76,0	161,6
2004-2005	142,8	485,0	342,1	46,6	7,1	5,2	33,5	8,5	6,7	0,0	7,1	367,1
2005-2006	138,4	86,3	107,3	13,0	4,7	8,9	6,8	15,2	1,4	0,1	57,4	221,4
2006-2007	513,9	446,0	156,1	50,5	8,0	3,3	14,0	2,4		0,8	84,7	60,5

Annexe 9: Formulaire d'enquête

Questionnaire N°

INFORMATION GENERALE

Région :

Commune :

District :

Fokontany :

Enquêteur :

Village :

Détails du ménage

A1.Chef du ménage :

- Pere
- Mère
- Fils
- Fille
- Autres (à préciser):

A2.Type d'habitat :

- Maison

- Beton :
- Briques
- Terre battues
- Matériaux végétaux
- Autres (à préciser)

- Toiture

- Tôle
- Tuiles
- Matériaux végétaux
- Autres (à préciser)

Tableau 1 : Démographie et niveaux des membres du ménage

<i>Nom</i>	Relation avec le chef du ménage (4a)	Situation matrimoniale 1. célibataire 2. <i>Marie</i> 3 <i>Divorcé</i> 4. <i>Autres</i>	<i>Sexe</i> 1-male 2-femelle	<i>Age</i> (Ans)	Niveau d'éducation 1= Primaire 2= collège 3=lycée 4=Universitaire	<i>Occupation</i> 1. <i>Etudiant</i> 2. <i>professeur</i> 3. <i>Autres (à spécifier)</i>
	Chef du ménage					

4a- (1) Père (2) mère (3) fils (4) fille (5) gendre (6) belle fille (7) grand père (8) grand mère (9) cousin (10) oncle (11) tante (12) niece (13) autres

Terroir (sol)

Nombre total de parcelle cultivée					
Caractéristiques	parcelle 1	parcelle 2	parcelle 3	parcelle 4	parcelle 5	parcelle 6
Surface en are ou en hectare (spécifier)						
Distance % au foyer						
Type de sol						
Type terroir (1-bas fond 2- bas de pente 3- <i>Tanety</i> 4-Autres)						
Age de l'utilisation de la parcelle par la famille						
Perception paysanne de la fertilité du sol (1-très fertile ; 2-moyennement fertile ; 3-peu fertile ; 4-pauvre)						
Gérer par quel membre de la famille ?						

Mode de gestion

Mode de gestion des parcelles	parcelle 1	parcelle 2	parcelle 3	parcelle 4	parcelle 5	parcelle 6
SCV (type)						
Labour						
Jachère						
Autres (à préciser)						

Culture

Nombre total de parcelle cultivée												
parcelle	1		2		3		4		5		6	
Saison	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Localisation géographique												
Surface en are ou en ha (specifier)												
Type de culture												
Variété de semence												
Quantité de semance												
Densité du peuplement												
Rendement obtenu												

Fertilisation

parcelle	1		2		3		4		5	
Type de fertilisation	Quantité (kg)	Prix (Ar)	Quantité (kg)	Prix (Ar)	Quantité (kg)	Prix (Ar)	Quantité (kg)	Prix (Ar)	Quantité (kg)	Prix (Ar)
Type de fumier utilisé										
1-bovin										
2- mouton ou chèvre										
3-fumier de porc										
4-fumier de volaille										
Quantité de résidu de culture										
Quantité de matière organique utilisée										
urée										
NPK										
Autres (à préciser)										

Mode de gestion

A: facilité d'accès aux fertilisant?

1. pas toujours
2. Depuis (année à préciser)
3. Depuis toujours (facile d'accès)
4. Périodique (ex tous les deux ans)

B. forme de facilité d'accès aux fertilisants :

1. paiement en liquide
2. en nature (lors de la moisson)
3. à crédit
4. autres (à préciser)

Activités dans les champs

Type d'activité	Nombre de personne qui travail sur	Membre de la famille qui fait le travail	Temps dépensé pour	paiement en (espèce ou en nature)
<i>Débroussaillage</i>				
Labour 2				
hersage				
Apport de fumier				
Labour 1				
repiquage				
Apport d' engrais minéraux				
désherbage				
Sarclage				
récolte				
Autres (à spécifier)				

Outils agricoles

Outils agricoles	nombre	Nombre en état de travailler	capacité de production (are ou ha/j)	cout de l'achat et/ ou de l'entretien (ariary)
Kubota				
charrette				
brouettes				
charrue				
herse				
bèches				
Râteaux				
Autres (à spécifier)				

Elevage

Type d'animaux	Nombre possédé	Nombre en possession
bœufs		
mouton		
chèvre		
volaille		
Autres (à specifier)		

Source de revenu du ménage

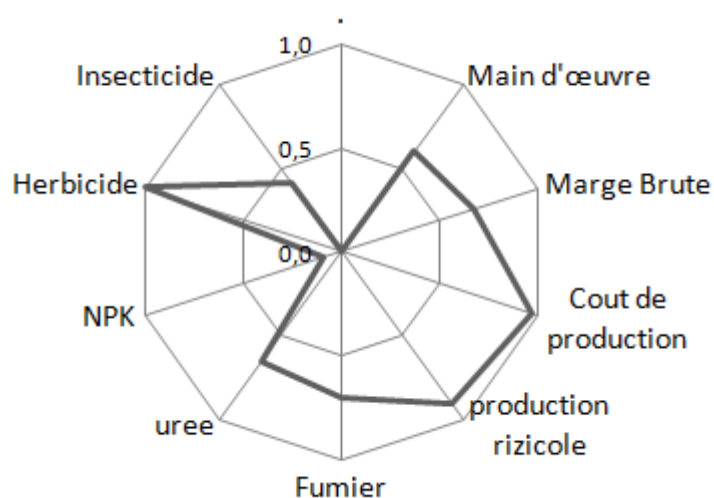
Interne

Source de revenu	Revenu	Rang
Vente de graine		
Vente de l'élevage		
Vente de fruits et légume		
métayage		
salaire		
Autres (à spécifier)		

Externe

Activité	Fabrication de briques	Jardinage	charbonnage	Métayage	Autres activités (à spécifier)
Combien de temps avez vous effectué cette activité ?					
Quel membre de la famille pratique cette activité ?					
Revenu par jour ou par mois ou par an de cette activité (Ar)					

Annexe 10 : Méthode de lecture des radars



Indicateurs	Unité	Local (A)	Région (B)	Radars (A/B)
Main d'œuvre	(hj.ha ⁻¹)	45,8	76,4	0,60
Marge Brute	(Ar 10 ⁶ .ha ⁻¹)	1,6	2,3	0,67
Cout de production	(Ar 10 ⁶ .ha ⁻¹)	0,4	0,4	0,97
production rizicole	(10 ⁶ t.ha ⁻¹)	3,2	3,6	0,91
Fumier	(kg.ha ⁻¹)	539,1	768,7	0,70
uree	(kg.ha ⁻¹)	10,7	16,4	0,65
NPK	(kg.ha ⁻¹)	0,7	7,8	0,10
Herbicide	(kg.ha ⁻¹)	1,4	1,4	1,00
Insecticide	(kg.ha ⁻¹)	0,9	2,3	0,41

Le diagramme radar est également connu sous le nom de graphique « en araignée » ou « en étoile » est une méthode graphique en deux dimensions, permettant de représenter différentes plages ou valeurs, en fonction de plusieurs catégories (un peu plus d'une dizaine au maximum). Il permet de tracer les valeurs de chaque catégorie le long d'un axe distinct qui commence au centre du graphique et se termine sur l'anneau extérieur. Le diagramme radar sert de comparateur multidimensionnel.

Il permet à l'utilisateur de comparer d'un seul coup d'œil, les données de différents groupes entre eux. Les points forts et points faibles parmi les catégories représentées sont ainsi immédiatement mis en évidence.

On lit sur chaque axe partant du centre, la valeur que prend la grandeur ou l'objet représenté, en fonction chaque catégorie.

Il peut être utilisé pour répondre aux questions suivantes :

- Quelles variables sont dominantes pour un critère donné ?
Pour notre cas, la question s'intitulerait : quel indicateur est le plus influencé par quel facteur ?
- Quelles variables se ressemblent le plus, y a-t-il des groupements de variables ?
Pour notre exemple cela correspondrait à : y a-t-il plusieurs indicateurs qui se vendent évoluent de la même manière sous l'influence des différents facteurs ?
- Y a-t-il des exceptions, des variables qui se démarquent ?
Dans notre cas cela pourrait se formuler de la manière suivante : y a-t-il un indicateurs devançant tous les autres en matière de quantité?

Résumé

Evaluer la vulnérabilité des exploitations agricoles face aux changements climatique (CC) et démographique (CD) permettra de comprendre le fonctionnement de ces exploitations face à ces contraintes et d'identifier les pratiques d'adaptation en vue d'une meilleure gestion des ressources. A Madagascar la filière riz prend une place importante dans ce secteur et la région du Lac Alaotra en est le principal producteur. Toutefois, les pratiques agricoles actuelles de la région peuvent remettre en question la sécurité alimentaire à l'échelle nationale. Des enquêtes ont été menées auprès de 103 exploitations réparties dans 4 communes représentatives de la région. L'étude s'est focalisée, dans un premier temps, sur un travail de description du système agraire et les effets des deux facteurs sur celui-ci. Et dans un second temps sur des travaux de modélisations dont le but est d'optimiser la production agricole face aux effets des deux facteurs considérés.

L'évolution du système agraire de la région résulte d'un long processus lié à l'historique du peuplement, au développement technologique et aux contraintes environnementales. Il est dominé par une agriculture conventionnelle basée sur la riziculture irriguée et pluviale, une filière qui occupe plus de 90% de la population de la région. Trois types peuvent être observés dans la région à savoir les petites, moyennes et grandes exploitations. Le résultat montre une différence du mode de gestion des ressources entre les types d'exploitation et la localité considérée. Les petites exploitations se basent sur l'autosubsistance, les moyennes sur l'autosubsistance et un minimum d'investissement, et les grandes sur la vente. La différence est en grande partie attribuée à la distribution des parcelles sur les étages écologiques et aux moyens techniques à leur disposition. Les localités d'Ambatosoratra et d'Amparihitsokatra (celles de l'Est) sont à la fois sensibles aux CC et CD. La localité de Vohitsara est sensible aux CC La localité de Tanambe est sensible au CD. La sensibilité au CC est déterminée par les surfaces cultivables et leur distribution selon les différents terroirs, tandis que la sensibilité au CD dépend de la distribution des parcelles cultivées et de l'outillage agricole à la disposition de chaque famille.

Les indicateurs relatifs à la production (marge brute, coût de production et production rizicole) sont plus sensibles aux facteurs climatiques, tandis que les indicateurs relatifs aux intrants (quantité de main d'œuvre utilisée, fertilisants organiques et minéraux, pesticides) sont liés aux facteurs démographiques.

Le travail de modélisation a permis de comprendre que le mode de gestion actuel des exploitations autour du Lac optimise soit la marge brute soit la valeur de production tout en assurant la quantité de riz dont elles ont besoin pour la prochaine saison avec une limitation de la main d'œuvre saisonnière.

11 sur 12 groupes d'exploitations sont sensibles aux doubles effets des changements climatique et démographique. Une diminution de la productivité est alors constatée dans la région. L'écart de la production rizicole varie de 0,7 à 2 T.ha⁻¹ selon la localité. Notons que les effets du CC prime sur celui du CD.

En somme, la perception paysanne du changement climatique combinée avec le savoir scientifique permet de cerner le sujet.

MOTS CLES : Changements climatique et démographiques, sensibilité, vulnérabilité, riz, Lac Alaotra, indicateurs

Abstract

Valuing the vulnerability of farms to climatic and demographic changes (CC) (CD) will permit to understand the functioning of these exploitations face with these constraints and also to identify the adaptation practices in view of a better management of resources. In Madagascar, rice path takes an important place in this sector and the region of Alaotra basin is the main producer of rice. However, the actual agricultural practices in the region can question the food security on a national scale. Investigations have been led in 103 exploitations spread out in 4 representative localities of the region. The survey focused, in a first time, on a work of description of the farming system and the effects of the two factors on this one. And in a second time on works of modelling whose goal is to optimize the agricultural production facing the effects of the two considered factors.

The evolution of the farming system in the region results from a long process bound to the historic of the population, to the technological development and to the environmental constraints. The system is dominated by a conventional agriculture based on the irrigated and rainfed rice culture, a sector that occupies more than 90% of the population of the region. Three types can be observed in the region which are the small, middle and big exploitations. The result shows a difference in the allocation of resources between the types of exploitation and the considered locality. The small exploitations are based on the subsistence, the middle on the subsistence and a minimum of investment, and the big on trading. The difference is largely assigned to the distribution of the parcels on the landscape and to the technical means at their disposal. The localities of Ambatosoratra and Amparihitsokatra (those of the East) are at a time sensitive to the CC and CD. The locality of Vohitsara is sensitive to the CC. The locality of Tanambe is sensitive to the CD. The sensitivity to the CC is determined by the area suitable for cultivation and their distribution according to the different soils, while the sensitivity to the CD depends on the distribution of the cultivated parcels and the agricultural tooling at the disposal of every family.

The relative indicators to the production (gross margin, cost of production and rice production) are more sensitive to the climatic factors, while the relative indicators to the inputs (labour, organic and mineral fertilizers, pesticides) are bound to the demographic factors.

The modelling permitted to understand that the way how the actual management of the exploitations around the Lake optimizes either the gross margin or the value of production assuring the quantity of rice of which they have need for the next season and also with a limitation of the seasonal total labour.

11 out of 12 groups of exploitations are sensitive to the double effects of the climatic and demographic changes. A reduction of the productivity is noted then in the region. The gap of rice production varies from 0,7 to 2 T.ha⁻¹ according to the locality and noting that the effects of CC takes before the one of the CD.

In short, the farmer perception of the climate change combined with the scientific knowledge permits to identify and master the problem.

KEY WORDS: climatic and demographic Changes, sensitivity, vulnerability, rice, Lake Alaotra, indicators .